

金属材料与热处理译丛 > ·

第 6 輯

測試技术与設備

(下 册)

上海市机械工程学会热处理专业組 編

編 者 的 話

金属材料 and 零件在热处理以后的质量檢查范围很广。根据所檢查的部位来划分,大致可分为外观的檢查(如外形尺寸和表面情况等)和內部的檢查(如各种物理、化学和机械性能,晶体結構,显微組織和內部伤疵等)两类。至于就所采用的檢查方法而論,則广泛地牵涉到物理学和化学的各个分支。因此,要全面地对近年来国外有关这方面的資料进行翻譯汇编将会使本輯的内容显得过份龐杂。

为了避免这个困难,故将本輯的内容局限于金属材料 and 零件的內部质量檢查方面,而所用的檢查方法則限于物理的方法(不包括无损探伤)。而且,为了适应广大金属学 and 热处理工作者特别是工厂中試驗研究工作者的需要,所选用的物理方法亦仅为通常应用較多的一些經典方法,例如金相、X 射綫衍射、磁性分析以及机械性能測定等技术。

收集的論文尽可能以近期者为主。但由于上述一些經典方法的应用中有一部分是較为成熟的,而近年来有关文献則較少,因此我們也相应地收集了一些時間較早的論文。

論文不是按照試驗方法而是按照檢查目的的内容类别进行編排的,这样可使在解决实际問題时便于查閱和对各种可用的方法进行相互比較。

本輯由桂立丰工程师主編。我們认为,在編譯方面难免有許多不够妥切之处,謹希广大讀者不吝指正。

1964 年 1 月

目 录

用等温淬火法测定合金钢渗碳层深度·····[苏联]	М. М. Замятин 等 ·····1
脱碳层深度的非破坏测定·····[美国]	Frank Phillips ·····5
高频淬火的淬硬层深度和质量的检查方法·····[苏联]	Г. Ф. Головин 等 ·····7
零件热处理质量的磁性检查方法·····[苏联]	Д. М. Померанц ·····10
根据X射线衍射线宽度测定钢的硬度·····[美国]	R. E. Marburger 等 ·····12
论工具钢机械性能的测量·····[苏联]	Ю. А. Геллер ·····16
评定结构钢的淬透性及其回火脆性的工艺方法·····[苏联]	С. И. Сахин ·····20
一种检测钢的回火脆性的方法·····[苏联]	Ю. Я. Волошенко 等 ·····28
钢的回火脆性和热脆性敏感度的评定·····[苏联]	П. Б. Михайлов 等 ·····30
回火(热)脆性时钢的内耗·····[苏联]	Е. И. Квашнина 等 ·····33
合金钢锻件中残余应力的测定·····[英国]	A. Barker 等 ·····35
热处理质量的断口检查法·····[苏联]	З. Н. Красильщиков 等 ···52
用X射线结构分析法确定钢中残余奥氏体·····[苏联]	Р. А. Чанда ·····57
应用对比线条的分阶衰减确定残余奥氏体的X射线法[苏联]	Б. А. Брусиловский ·····61
应用磁性金相法测定钢组织中的残余奥氏体·····[苏联]	Ю. А. Геллер 等 ·····67
在具有两种顺磁性相系中奥氏体量的算法·····[苏联]	Б. А. Апаев ·····70
过冷奥氏体分解的磁性研究法·····[苏联]	А. А. Попов ·····76
论用磁性法测定残余奥氏体·····[苏联]	В. Г. Пермяков ·····81
论用磁性法测量残余奥氏体量·····[苏联]	Ю. А. Геллер ·····82
表面淬火钢中残余奥氏体的测定方法·····[苏联]	М. М. Климовкин 等 ·····85
淬硬高碳钢中残余应力的X射线测定·····[美国]	A. L. Christenson 等 ·····87
以X射线测量淬硬钢残余应力时计算峰位置 的一个简化方法·····[美国]	D. P. Koistinen 等 ·····100
钢的淬火和回火的体积研究法·····[苏联]	В. В. Абрамов ·····107
碳钢的非破坏金相检查·····[英国]	K. Sachs 等 ·····111
金属试样的宏观及显微表面非破坏检查技术·····[法国]	Pierre-A. Jacquet ·····116
应用数理统计方法解决金属学问题的几个例子·····[苏联]	Г. Н. Эпштейн ·····124

用等温淬火法测定合金钢渗碳层深度

[苏联] М. М. Замятин 等

准确的测定合金钢渗碳层的分布边界是很困难的。用金相法测定的渗碳深度是依钢的牌号、所研究试样中组织的亚稳定性以及其他原因而定的条件的数值。

本文叙述能够排除主观误差和保证得到相同结果(误差在 $\pm 0.05 \sim 0.10$ 毫米范围内)的渗碳深度测定方法。

特 点

在制订方法时,我们利用了碱浴中的等温淬火,碱浴的温度相当于渗碳层条件边界的马氏体点。必须说明,此处所谓渗碳层的条件深度,是指由渗碳层的过共析区、共析区及 $2/3$ 过渡区总和所确定的深度。应用等温淬火检验高速钢脱碳层的方法是 В. Д. Садовский 所发展的。以后 Rowland 和 Lyle 曾对利用等温淬火来测定镍钼钢渗碳层深度的可能性进行了研究。可是,这些作者对检验方法的实用发展上仅提出了一些起码的要求。

把渗碳后的试样加热,使在渗碳层条件边界上含一定碳量的钢足以达到完全淬火的温度(我们取 $830 \sim 850^\circ\text{C}$, 12X2H4A 及 12XH3A 钢相当于含碳量 $0.30 \sim 0.36\%$)。然后把试样淬入具有相当于边界含碳量的马氏体点温度的碱浴中,并在浴中保温一定时间。这个时间应足使试样冷却到淬火介质的温度并使试样心部形成的马氏体得到回火,但不足使在渗碳深度边界上的奥氏体发生等温转变。以后,试样淬入水中。

试样在碱浴中停留时,在整个渗碳层中奥氏体不会产生分解,因为渗碳层中所有各部分的马氏体点皆较浴温为低。在随后淬水时,渗碳层由于奥氏体的分解,将获得未回火马氏体的组织。试样整个心部的特点是具有很显著的侵蚀性,因为它是由回火马氏体组成的。这种在侵蚀性方面的差别,必然使渗碳层深度具有清晰的边界。

渗碳层条件边界上含碳量的测定

为了选择碱浴温度,必须测定相当于渗碳层条件边界上的含碳量。这可用对渗碳后缓慢冷却并经过高温回火的试样进行显微侵蚀的方法来实现。

为此,曾对直径 20 毫米的圆柱形试样进行深度为 $0.7 \sim 2.0$ 毫米的渗碳。在渗碳后,从其表面的中间部分取得切屑,供含碳量逐层化学分析之用。在进行试验时,作者曾利用试样上的端部截片(高度为 10 毫米),在其上先按一般常用的金相检验方法,然后应用等温淬火方法,根据其显微组织来测定渗碳深度。

图 1 和图 2 所示为 12X2H4A 及 12XH3A 钢渗碳层的逐层化学分析结果。由图中可看出,渗碳层的条件边界并不与一定的含碳量相应,而对上述两种钢来说,是散布于 $0.25 \sim 0.40\% \text{C}$ 范围内的。

为了更准地测定渗碳层条件边界上的含碳量,我们应用了等温淬火法。众所周知,对于给定了钢的成分来说,马氏体点仅依含碳量而定。为此目的选择了等温淬火的规范,以解决在 $2/3$ 过渡层位置上获得光亮层的边界,这过渡层是已经根据未经淬火试样的显微组织确定了的。选择在未淬火状态下渗碳层过渡区组织边界最清晰的试样作为标准。所有试样在等温淬火后得到的渗碳层条件边界位置的测量结果,重新绘在碳的分布图上(图 3 和图 4)。

研究图 3 和图 4 就能确定所有试样在渗碳层条

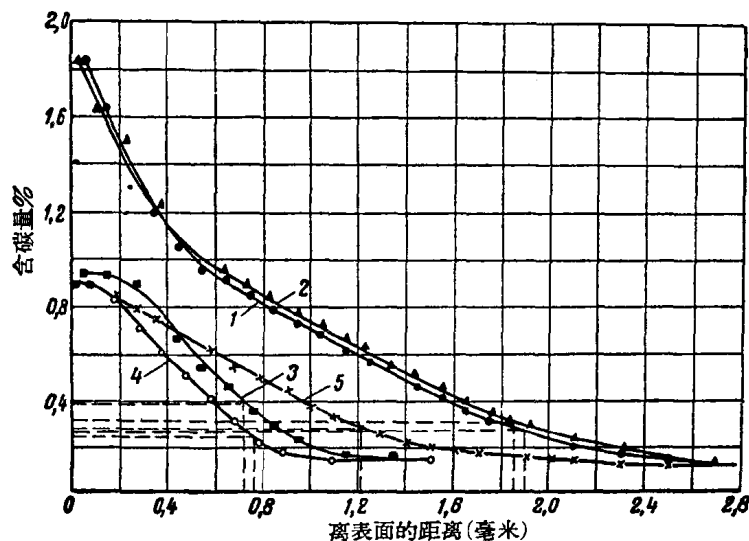


图1 渗碳层条件边界上含碳量的测定(12X2H4A 鋼)

1—深度 1.85 毫米; 2—1.76 毫米; 3—0.96 毫米; 4—0.76 毫米; 5—1.2 毫米

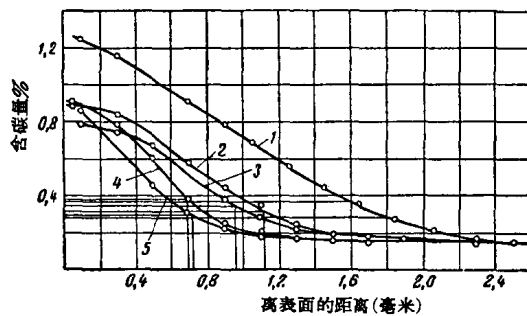


图2 渗碳层条件边界上含碳量的测定(12XH3A 鋼)

1—深度 1.7 毫米; 2—1.12 毫米; 3—0.96 毫米; 4—0.7 毫米; 5—0.72 毫米

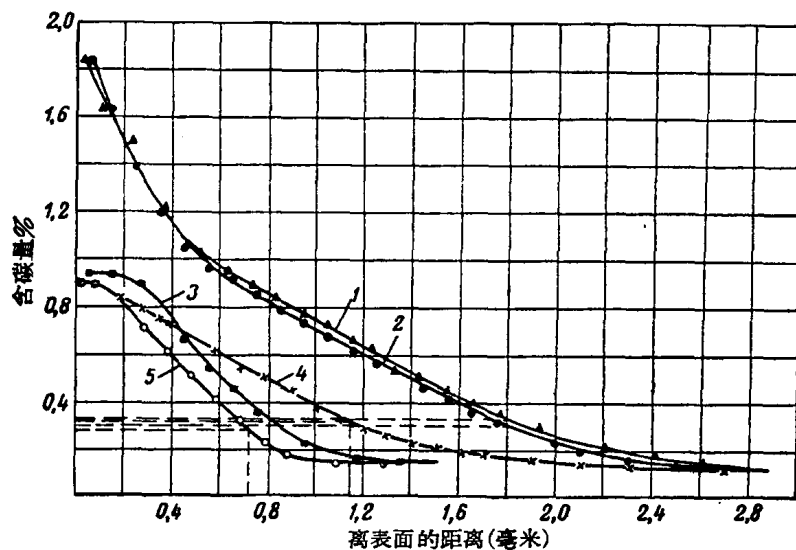


图3 等温淬火后渗碳层条件边界上含碳量的测定(12X2H4A 鋼)

1—光亮层深度 1.8 毫米; 2—1.8 毫米; 3—0.8 毫米; 4—1.15 毫米; 5—0.72 毫米

件边界上所得到的分散性（根据含碳量），因鋼号 12X2H4A 系处在 $0.30 \pm 0.030\%$ 的范围内，而 12XH3A 为 $0.33 \pm 0.03\%$ 。在两种情况下， $\pm 0.03\%$ 的偏差是因試样的逐层化学分析误差所引起的。

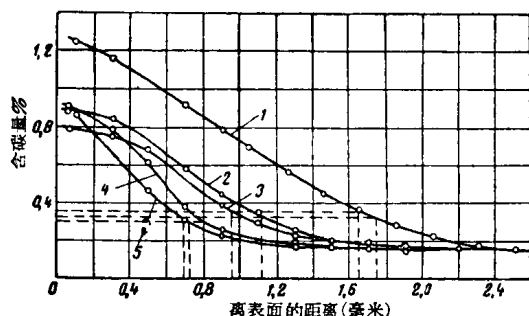


图4 等温淬火后渗碳层条件边界上含碳量的测定

1—渗碳深度 1.65~1.75 毫米；2—1.12 毫米；
3—0.96 毫米；4—0.8 毫米；5—0.72 毫米

因而可以认为，在渗碳层条件边界上的含碳量，对鋼号 12X2H4A 为 0.30%，而对于 12XH3A 为 0.33%。这属于一般淬火车间条件下，不论采用固体渗碳还是气体渗碳所得到的正常的渗碳层。

等温介质温度的选择

为了确定等温介质的温度，必须用試驗方法来测定与渗碳层条件边界上含碳量相当的馬氏体点。

为此，将試样淬入温度为 $260 \sim 320^\circ\text{C}$ （保温 3 分钟）的碱浴中（35% NaOH 和 65% KOH）。

試驗結果表明，对于鋼号 12X2H4A（3.48% Ni, 1.53% Cr, 0.48% Mn 及 0.35% Si），介质温度应保持在 $280 \sim 285^\circ\text{C}$ 的范围内，它相当于含 0.3%C 的渗碳层条件边界的馬氏体点，而对鋼 12XH3A（3% Ni, 0.78% Cr, 0.52% Mn 及 0.26% Si），介质温度应为 $300 \sim 295^\circ\text{C}$ ，相当于含 0.33%C 渗碳层的馬氏体点。

同时利用了曾被 Rowland 及 Lyle（見前）应用于其他鋼号的 Пайсон 經驗公式，来测定对于鋼号 12X2H4A 在被研究的成分下其馬氏体点与含碳量之间的关系。

把实验和計算数据加以比較，說明两者有很好的符合。所以，在实际应用新方法测定渗碳层深度时，可推荐利用經驗公式来計算馬氏体点。利用它将可减少当由一炉鋼过渡到另一炉时测定上的一般误差。

在等温介质中試样保温时间的选择

在等温介质中試样的保温时间一方面决定于試样达到与碱浴相同温度的过程时间，而另一方面则决定于渗碳层条件边界上奥氏体等温转变为針状組織的起始时间。

图 5 表示用 12X2H4A 鋼制成的两种不同尺寸的試样，在两种温度下在浴中保温的时间对光亮馬氏体层尺寸的影响。

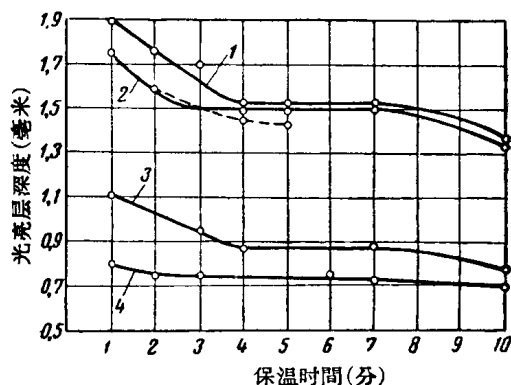


图5 在碱浴中保温时间对光亮馬氏体层尺寸的影响

1、3、4、—試样直径为 20 毫米；2—試样直径 17 毫米；实线为在 280°C 时，虚线为在 330°C 时

試样預先經渗碳至不同的深度。这些数据表明，当試样在浴中停留时间不足以使試样冷却到浴温时，得到光亮馬氏体层的深度较大，渗碳层的边界不清晰。这时之所以得到太厚的渗碳深度，据我們看是与不符合分级冷却条件有关，因实际上此时試样发生了連續冷却，而在試样在浴中停留期間的終了其冷却极为緩慢。

如果冷却时间足够长或比試样获得浴温所需时间稍长，光亮（未回火的）层的深度是始終不变的（在我們的情况下，浴温为 280°C 时，这个时间为 3~7 分钟）。当进一步增长保温时间（在 280°C 时），光亮层的深度开始减小，这是由于在渗碳层条件边界邻近区域内逐渐发展了奥氏体等温转变的过程所引起的。这种转变逐渐延及到具有更高含碳量的整个层内。

对于鋼号 12XH3A（渗碳层边界为 0.33%C），奥氏体等温分解开始前的孕育期为 30 秒。

在鋼号 12X2H4A 的渗碳层中，当含碳量为 0.25% 或以下时（馬氏体点位于 300°C 或更高），以

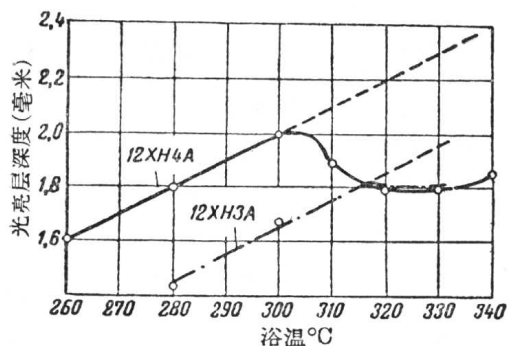


图6 在馬氏体轉变上加以等温轉变
試样直徑 17 毫米; 渗碳深度 1.8 毫米;
在 280°C、300°C、320°C 及 340°C 下
保温 3 分钟; 在 260°C 下保温 5 分钟

及鋼号 12XH3A 在相同的含碳量时(馬氏体点位于 320°C 或更高), 奥氏体等温轉变几乎在試样达到最終温度时就立即开始进行(图6)。必須指出, 即使奥氏体产生部分等温分解时, 銘錄鋼未回火馬氏体的光亮层边界仍能保持滿意的清晰度。

方法的金相特征

如已指出, 等温淬火能够在渗碳层条件边界上得到突然的和清晰的組織变化。

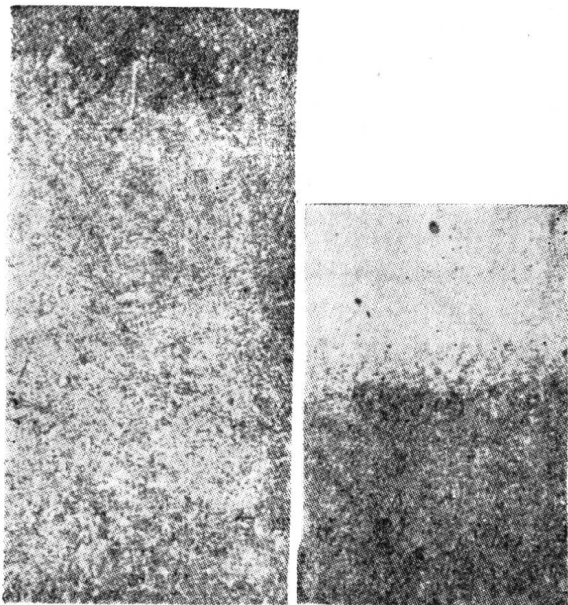


图7 鋼号 12X2H4A 渗碳层过度区
(亚共析区)的显微組織

a—在渗碳和高温回火以后; b—在等
温淬火以后

图7a 中示鋼号 12X2H4A 經渗碳和高温回火后, 即在通常測定渗碳层深度的組織状态下, 其渗碳层过渡区(亚共析区)的照片, 而图7b 示試样根据本文前面各节所述规范进行等温处理后其相同位置上的照片。由于在过共析区域中奥氏体作較高速度的等温分解, 渗碳层的这一部分在侵蚀时, 一般皆較共析层及亚共析层的顏色为深暗。如果在渗碳过程中, 发生表面碳飽和的程度較弱而得到擴張的亚共析层, 則等温处理后試样的显微組織特征是渗碳层条件边界的明显程度有些降低。

必須指出, 試样在等温处理以后, 显微試样的制备应该自砂輪上粗磨开始, 而不仅限于仅用細砂紙磨制, 因为在后一种情况下, 由于試样加热时的表面氧化, 測定渗碳层深度时, 結果可能失却正确性。当然, 試样在砂輪上粗磨时, 不允許表面产生显著的过热, 以免使馬氏体回火。試样必須在 4% 硝酸酒精溶液中进行侵蚀。

正如許多試驗所指出的, 条件渗碳深度的测量准确度是 ± 0.08 毫米或为平均渗碳深度(1.8毫米)的 5%, 由此可得出关于渗碳深度測量結果具有完全滿意重复性的結論。

結 語

1. 所提出測定渗碳层深度的方法能借助于等温保温温度的确定而得到渗碳层明显的边界。改变等温保温温度, 能够在渗碳层范围内获得在任何希望的含碳量下的渗碳边界。

2. 根据这个方法測定渗碳深度不能普遍用于所有鋼号。在低合金的和碳素的渗碳鋼中, 当冷却时, 在渗碳边界 (0.35~0.45% C) 上奥氏体或在馬氏体轉变后立即开始等温分解, 或在未达到馬氏体点时奥氏体將轉变为鉄素体和碳化物的混合物。

3. 所制訂的檢查制度在工厂試驗室的条件下易于实现。方法的特点是測量准确度为 $\pm 5\%$ 。因鋼的化学成分在該牌号范围内的变动所引起的誤差, 可在确定碱浴温度以适应被試样成分及其对馬氏体点位置影响(按經驗公式計算)的数据时予以考虑到。

(朱振琳譯自 «Заводская лаборатория»

No. 6, 1955, 687~692 頁, 桂立丰校)

脱碳层深度的非破坏测定

[美国] Frank Phillips

鋼件上的脱碳层深度(从表面扩展到千分之几吋深度的貧碳区域)是难以测定的。这个区域中的碳分渐渐地增加到相当稳定的中心数值,且由于碳的濃度是逐渐变化的,因此很难确定脱碳层的終点。通常用来检测上述情况的二种方法是目测法与显微硬度法,然二者均系破坏性的。另則,此二种方法还存在其他缺点,使得波音(Boeing)飞机公司质量試驗室寻求改进的与非破坏的方法来测定脱碳层深度。

所設計的方法沒有目测法的结果不一致的缺点,它和显微硬度法一样可靠,而且有非破坏的、测量速度快的优点。如图1所示,经过训练的操作者用一台具容限內的洛氏試驗机来测量表面与中心硬度。应用列綫图将这些数值轉換为深度讀数。



图1 应用标准試驗裝置能很快地測定脱碳层深度

获得标准讀数:

为了将列綫图与任一給定的試驗机一起应用,必須滿足以下二个条件。第一,試驗机必須准确到

$\pm 1.0 R_C$, 这可用二个硬度約为 25 和 65 R_C 的标准块,在每一块上分別取六个 R_C 值来决定。如果每一标准块的最后三个讀数都在标明于此标准块上数值的 $\pm 1.0 R_C$ 范圍內,那末試驗机精度是在容限之內的。不在容限內的任何試驗机不适合于在这方法中使用,因而必須加以調整。

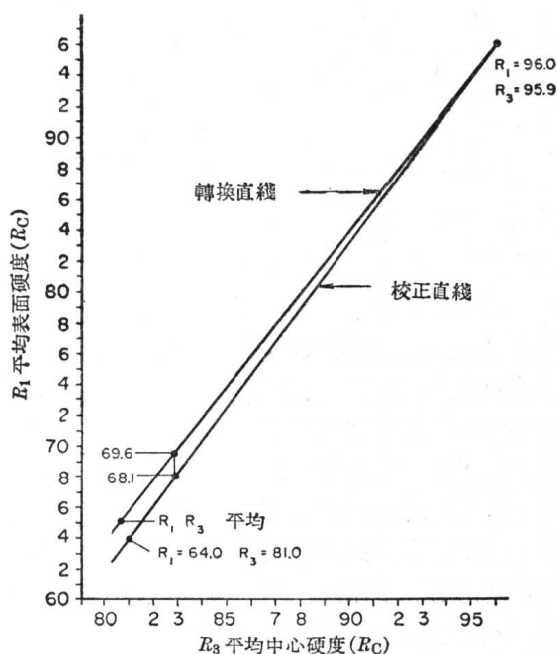


图2 用于补偿各試驗机差别的校正图

第二,必須作出一个校正图以便将各試驗机数值轉換成标准状态。根据下述方法繪制如图2所示的图:

1. 用 $R_C 25$ 的标准块,得出表面与中心的硬度值。在压头上应用 60 公斤載荷,30 秒后讀出 R_1 。將讀数记录到最接近的十分之一,勿將零件从試驗机上移去。

2. 在試驗机上再施加 40 公斤載荷,使总重为 100 公斤。旋轉上升螺絲,使指示器回复到初載荷位置。使用零点調整器,进行最后的零点調节。如 1 所述,讀取第二个讀数 R_2 ,勿將零件从試驗机上移去。

3. 在試驗机上再施加 50 公斤載荷使总重量为 150 公斤。如前所述, 讀取和記錄 R_3 , 并将零件从試驗机上移去。

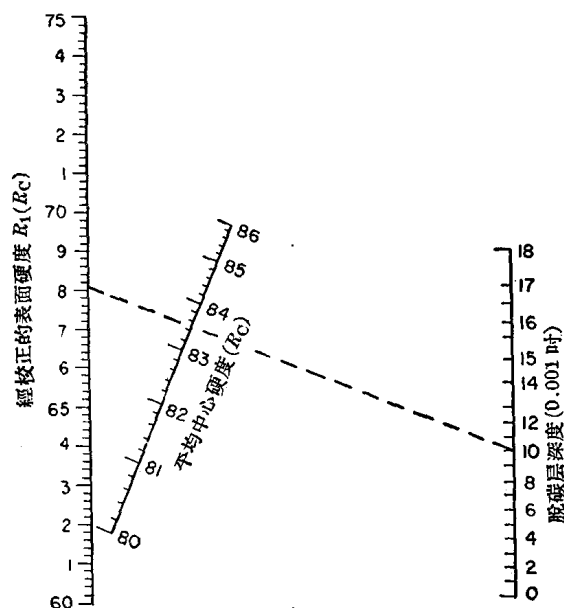


图 3 通过轉換, 中心与表面硬度值指出脫碳层深度

4. 重复 1、2 和 3 共 6 次。如 6 个 R_1 值或 6 个 R_3 值的范围都超过了 0.3, 就舍去这六組数值而另求六組新值。不能获得令人满意的数值組原因, 可能是由于試驗机或标准块的缺点而引起的。这些数值必須在所述的范围内以便程序繼續进行。

5. 将六个 R_1 和 R_3 值平均到十分之一的精度。将 R_1 平均值被 R_3 平均值来除, 假如其比率小于 0.7690, 列綫图的相互关系就无效了。这时就应更換压头或增加初載荷以获得一个合宜的比率。在繼續进行之前, 比率条件必須滿足。

6. 画出一个如图 2 所示的校正图。在坐标为 (64.0, 81.0) 处定出一点, 而在 (96.0, 95.9) 处定出另一点。在二点之間画出一一直綫。这就是标准的校

正直綫。定出第三点, 其 R_1 和 R_3 的坐标为步驟 5 中所得到的平均值。从該点到位于 (96.0, 95.9) 的点画出一一直綫。这就是轉換直綫。

进行脫碳层的測定:

对于一台具容限內的試驗机当已作成了校正图之后, 就可能将各别的試驗机讀数轉換到校正标准, 因而可以应用如图 3 所示的图。讀取中心与表面讀数是相当容易的。

1. 按前述方法求得三組 R_1 与 R_3 值。其范围不应超过 0.6。如已超过, 则再增取三組数值。将 6 个 R_1 及 6 个 R_3 值求平均。

2. 应用校正图, 将这个 R_1 平均讀数轉換为校正的讀数。在轉換直綫上找出 R_1 平均值, 同时从該点画出一垂直綫, 与校正綫相交。在交点处的 R_1 值即为經过校正的 R_1 值, 它就是列綫图上构成的分度尺 R_1 之一。

3. 在列綫图上找出經过校正的 R_1 值与 R_3 值。通过这些点作一直綫并延長之使与脫碳层深度的分度尺相交, 于是在交点处可讀出脫碳层深度值。

此法的一个例子示于校正图与列綫图上。应用一个标准块, 測得的 R_1 和 R_3 的平均值为 64.5 及 80.4。在校正图上定出該点并繪制轉換直綫。在所要檢定的工件上, R_1 与 R_3 的平均值分別为 69.6 及 83.5。如图 2 所示, 在轉換直綫上定出 69.6 的 R_1 平均值位置而向下作垂直綫使与校正直綫相交, 这样获得了 R_1 校正后的值为 68.1。用这个校正的 R_1 值与以前得到的 R_3 平均值在列綫图上画出直綫(如图 3)。用这一方法, 測得脫碳层的深度为 0.01 吋。

与測定脫碳层深度的目測法或显微硬度法相比, 所述方法虽然并不是更为完全的, 但它确实提供了一致的和非破坏的測量。

(周达恢譯自 «The Tool and Manufacturing Engineer» Vol. 45, No. 4,

1960, 119~120 頁, 桂立丰校)

高频淬火的淬硬层深度和质量的检查方法

[苏联] Г. Ф. Головин 等

由于高频电流感应加热表面淬火方法的广泛应用,随之提出了关于淬硬层深度和质量评定方法统一的问题。目前,在工厂和研究单位的实践及文献中,不仅无统一的术语,就是对淬硬层的理解也不尽相同。兹举下述数例以说明之。

在掌握表面淬火方法的初期,当时有人认为,淬硬层的显微组织并无特殊的意义,通常把宏观试验时显露的一层叫做淬硬层深度。设计者们平时感兴趣的仅是淬硬层中硬度最高的那一层,因为这一层决定了工件的耐磨性。通常淬硬层深度是用从表面至含有 50% 马氏体区域之间的距离来计算的。在评定表面淬火的质量时,这种测量淬硬层的差异,常会造成许多误解。淬硬层的显微组织是用术语“粗针状的”、“中等针状的”、“细针状的”及“隐针的”马氏体来表示的。这种评定方法是不够客观的,因为不能精确地划分针状程度的界限。

我们的看法是,按照自表面至含有 50% 马氏体组织区域之间的距离,能最方便和准确地评定淬硬层深度。它之所以正确,首先是因为在评定淬透性和渗碳层深度时亦应用类似的评定方法。此外,含有多于 50% 马氏体的区域最明显地说明了整个淬硬层性能的特点。当为了硬化工件而进行淬火时,淬硬层的不同区域对提高其强度的影响也不一。强度最大者为马氏体区域,并按组织中马氏体的减少,区域的强度亦随之降低。如果在组织中保持多于 50% 的马氏体,则它显著地影响着强度;当其含量较少时,工件的强度主要决定于软的组分。当欲增加耐磨性而进行淬火时,淬硬层的强度起着次要作用,而最重要的是硬度最高的区域。但是达到 50% 马氏体的层深亦足以确切地说明含有 100% 马氏体的层深的特性。

把两个相同工件淬火到相同深度的不同电规范,自然会影响沿层的横断面硬度的分布曲线。但是由研究结果的统计分析表明,具有 50% 的和 100% 的马氏体区域的对比关系变化是不重要的。这个图解如图 1 所示。曲线 1 表示在正确选择加热电规范

时,硬度沿淬硬层深度的典型分布。如果规范改变,则硬度的分布可能如图 2 所示。此时,用从表面至含有 50% 马氏体区域之间的距离所表示的淬硬层深度(II)相同,而硬度最高区域(III)有若干缩小;但是这个减小照例在热处理工艺的规定中是允许的。规范的改变显著地影响淬火总深度的大小(I)。因此,总深度不能表征淬硬层。

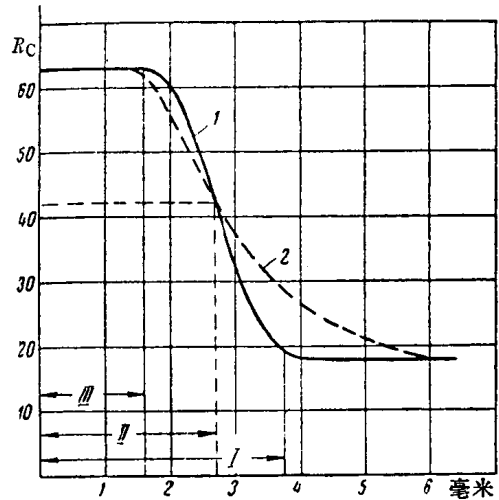


图 1 沿淬硬层深度硬度的典型分布

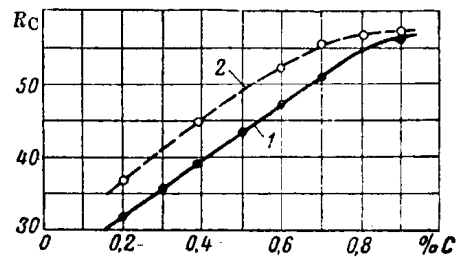
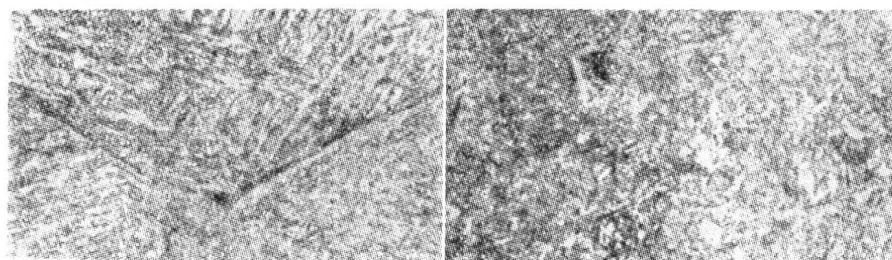


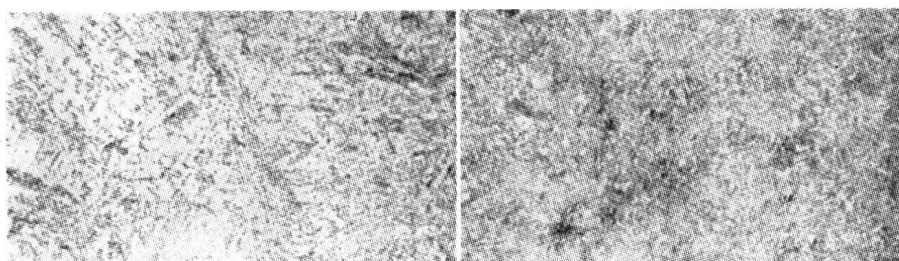
图 2 含有 50% 马氏体组织的硬度
1—碳钢; 2—中合金钢

仅当加热的电参数已明显地不正确时,虽然会淬至同一深度,但硬度的最高区域却具有很大的波动。此时也由于其它原因,例如加热的能量条件等,这些电参数并不能被接受。



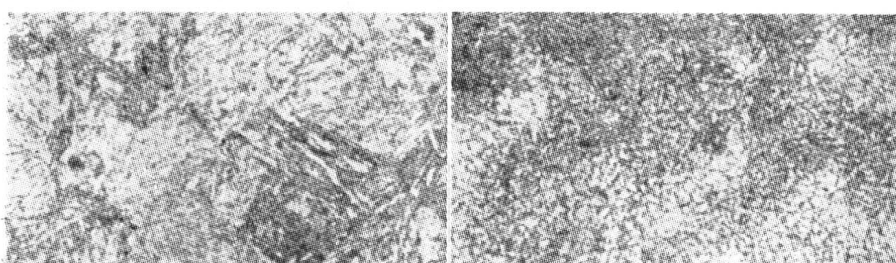
1 級

6 級



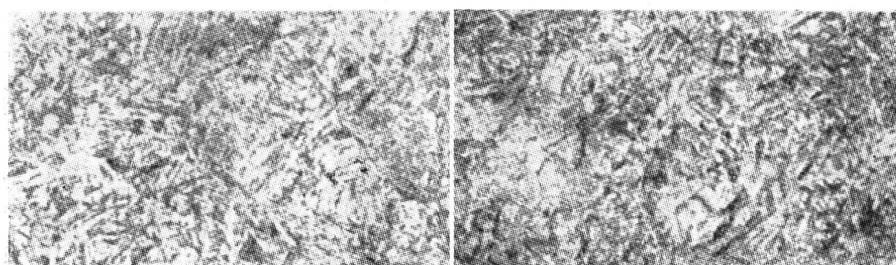
2 級

7 級



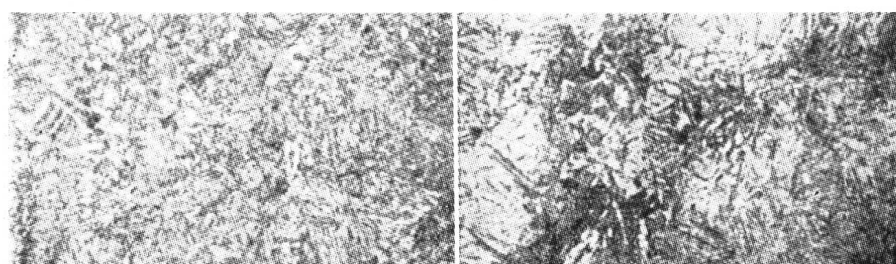
3 級

8 級



4 級

9 級



5 級

10 級

图3 中碳鋼高頻淬火时,馬氏体显微組織的評級图($\times 400$)

在圖紙和工藝卡片中，除了淬硬層深度以外，尚須規定表面硬度。因此，在曲線上規定了兩個點，即表面硬度和離開表面一定距離處的硬度。這足以準確地決定在感應加熱淬火後所得到的在上述兩點間曲線的形狀，甚至在加熱規範變更時亦然。

我們所應用測定淬硬層深度的方法，是簡易可行的。淬硬層深度可以根據硬度來確定，因為對於常用牌號的鋼這種半馬氏體組織的硬度值是皆知的。圖2所示曲線是對經過淬火但未經回火的鋼組織而作出的。低溫回火降低馬氏體硬度 $3\sim 5R_c$ ，但并不顯著地影響半馬氏體區域的硬度（在 $1\sim 2$ 度的範圍內）。因此，圖2數據亦可用於評定經低溫回火或者經自行回火後的淬硬層深度。

經分析大量淬硬層深度的硬度曲線說明，具有相當於表面馬氏體硬度的區域（至硬度減少 $3\sim 4R_c$ 之點）幾乎佔整個淬硬層（達50%馬氏體者）的四分之三。

當規定某種工件淬硬層深度時，必須估計到這一關係。例如，假使設計者認為，當工件在使用時必須在1.5毫米內保持均勻的硬度，則淬硬層深度應為2毫米。在設計工件時引入這樣的修正並不困難，而且這將大大地便於檢驗工作。

用以表征淬硬層質量的特點，不僅是它的深度，而且還有它的組織類型。正如前述，無法精確劃分馬氏體針狀程度的界限。因此，為了評定顯微組織的質量，需要大量的經驗，而且快速感應加熱淬火下的顯微組織，尚具有某些特點。只有把所見到的組織與標準相比較才能進行客觀的評定。為此，在分析大量生產零件的基礎上，我們為中碳鋼（45~50鋼）制定了馬氏體顯微組織的評級圖（圖3）。評級圖分為10級，用針狀的程度和組織的均勻性來加以區分。1級和2級屬於粗馬氏體等級。這種組織是在過熱時得到的，在感應加熱淬火時，不能認為是許可的。3級和4級是中等針狀的馬氏體。3級表示保持淬硬層優良質量的馬氏體針的極限允許大小。5級和6級表示細針狀馬氏體。這種組織對碳素結構鋼表面感應淬火來說，是最為典型的。淬火這種鋼，很難獲得隱針馬氏體（7級）。通常，這種組織具有不完全淬火的特徵。在上述隱針馬氏體的顯微照片中，尚存在小部分的屈氏體。

在感應表面淬火時，在快速加熱的情況下或在處理具有複雜形狀表面的工件時，未能經常得到一種類型的馬氏體。在評級圖中所列8~10級具有清楚地顯示的但尚可允許的組織不均勻性。8級是碳濃度不均勻的細針狀馬氏體。這種組織是在足夠強烈的冷卻條件下得到的，該種冷卻速度為使碳濃度低的區域中能夠得到馬氏體時是必要的。在相當於9級的組織中，可以看到受強烈侵蝕的網絡。這種網絡的形成同樣也是由於在某些地方碳濃度的降低，該處原存有鐵素體組織，在淬火時形成了屈氏體-馬氏體的組織。在相當於10級的組織中，屈氏體的存在顯示得更為明顯，它可認為是允許的，因為硬度仍然是均勻和夠高的。

應該指出，所述馬氏體組織不均勻性的情況，僅為組織中原有分開的鐵素體和珠光體的鋼的特徵。原始組織愈粗大，愈難在高頻加熱時獲得均勻成份的馬氏體。在鐵素體顯著地呈現帶狀並聚集的情況下，當快速加熱時，其不均勻性是不可避免的，只有在顯然已過熱時，其不均勻性才能消失。

在制定工藝規程時，應該定出顯微組織允許的級別，而且在不同情況下，它們可以不尽相同。例如，我們要把形狀簡單的工件淬火至某一深度，這種深度在所用电流頻率下易于達到時，則可對顯微組織提出嚴格的要求，把它的等級限制在5~7級。如果相同的工作根據技術條件需要利用熱傳導加熱得深一些，可以允許為3~7級。當以大的加熱速度淬很小的深度時，或者為粗大的原始組織時，8~10級是難以避免的，則應把它們歸屬於允許組織（5~10級）的範圍之內。具有複雜形狀表面的工件，在不能達到均勻的加熱時，會出現能按3~10級評定的組織。這種情況下，在工藝卡片中應該規定，在工件上那些部位可允許這種類型的組織。

上述之評級圖亦可推廣於評定低合金結構鋼，但對這種金屬的淬硬層質量，提出較嚴格的要求。

所提出的高頻電流加熱淬硬層深度的質量的檢查方法，現被我們應用在掌握新的工藝過程中，這個方法亦可被推薦作為在生產條件下的統一檢查方法。

（朱振琳譯自《Заводская лаборатория》

No. 2, 1955, 190~193頁，桂立本校）

零件热处理质量的磁性检查方法

[苏联] Д. М. Померанц

由于零件热处理质量的磁性检查方法比其它检查方法有很大的优点,所以这种方法在生产中得到了相当广泛的应用。磁性检查可使零件不留任何检查痕迹,在一系列场合中它能显著地降低检查作业的劳动量,提高检查的准确度,并且为检查的机械化和自动化提供了可能性。

但是,由于方法本身的特点,磁性检查仪器不可能是万能的。例如在磁性检查的感应法中,读数不仅与结构有关,而且也与零件的形状及尺寸有关。诚然,测量矫顽力的方法没有这个缺点,虽然它只能在淬火及低温回火钢中采用。选择这种或那种磁参数(矫顽力、磁导率或磁感应强度)用于检查,是以零件的热处理本身的特点作为先决条件的,因为这些参数并不是硬度的单调的和单值的函数(图1和2)。

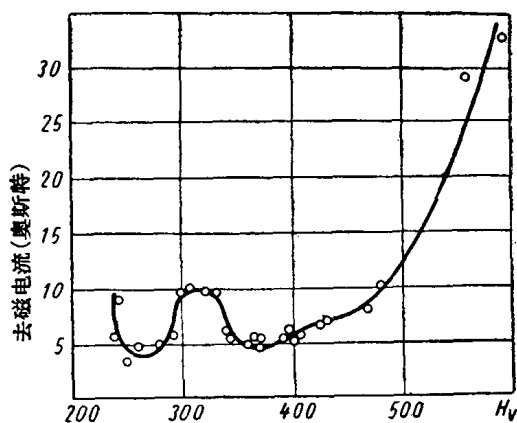


图1 40XH 钢的矫顽力(退磁电流)
与硬度的关系

采用磁性检查方法的这种困难能够用设计可进行矫顽力与磁导率(磁感应强度)测量的组合仪器来加以克服。

测量磁感应强度(B)或磁导率(M_H)的仪器按照一般的差作用方式装配。

被检查零件和恒定标样磁感应之差用毫安计的读数来测量。曾用这种仪器测量由40XH钢制造并经淬火和不同温度回火的连杆螺栓的磁感应强度。

在图2和图3中给出了磁感应强度与材料硬度的关系曲线;测量是在不同磁场强度下(6.25和33.8奥斯特)进行的。比较这些数据可以看出,在比较弱的磁场中磁感应强度对硬度的改变是最敏感的。

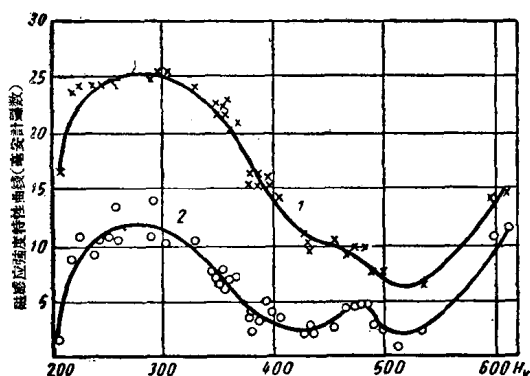


图2 40XH 钢的磁感应强度(磁导率)
与硬度的关系

$H = 6.25$ 奥斯特;

1—磁化的试样; 2—退磁的试样

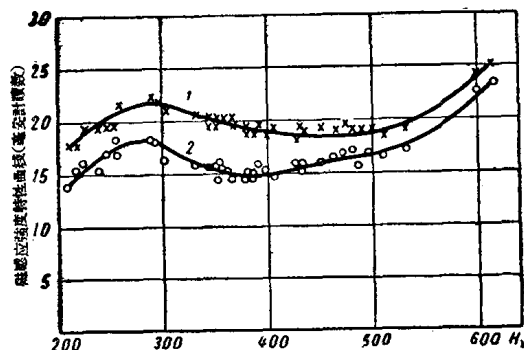


图3 40XH 钢的磁感应强度(磁导率)
与硬度的关系

$H = 33.8$ 奥斯特

关于磁感应强度(磁导率 M_H)对硬度改变的敏感性,磁化的试样(图2曲线1)要比去磁的试样(图2曲线2)来得大。利用这个效应可以显著地提高以磁感应原理为基础的磁性检查仪器的工作准确度。

前面已指出,磁感应强度不是硬度的单调的和

单值的函数,这限制了這個检查方法的应用范围。按磁感应值进行磁性检查只有当零件硬度在 $R_C = 35 \sim 45$ 的范围内并且配合矯頑力或磁能的测量才能有效地应用。例如,經淬火而未经回火的试样与回火至硬度约为 $R_C = 40$ 的试样具有同样的磁感应强度。因此,这些零件在磁感应强度检查以前,应该按照矯頑力或磁能来挑出废品。

应用磁性方法来检查热处理零件时要求安装專門的矯頑磁力計以預先檢驗淬火质量,因为不完全淬火的低硬度零件与正火和回火到硬度约为 $R_C = 35 \sim 45$ 者具有同样的磁感应强度。

考虑到这些情况,在柴油机主要零件,例如連杆螺栓(40XH, $R_C = 36 \sim 41$)和排气閥(40XH, $R_C = 35 \sim 40$)的热处理质量檢驗时,上述的磁性检查方法得到了成功的应用。

这样一来,我們把磁性检查方法推广到了中温回火部分。但研究硬度低于 $R_C = 30$ 的中碳鋼高温回火零件的检查方法,多次試图均未获得成功的結果。

結 論

1. 預先磁化显著地提高热处理零件的磁导率(磁感应强度)对硬度变化的敏感性。这可以提高鋼制零件在回火时检查方法的准确度和可靠性。

2. 磁导率(磁感应强度)不是硬度的单調的和单值的函数。因此,这个磁性特性只能成功地用于硬度在 $R_C = 35 \sim 45$ 的回火检查,并且要与测量矯頑力(磁能)方法相配合。

3. 預先磁化試样的磁导率应该在場强不超过 10 奥斯特下測量。随着場强的降低,方法的灵敏性增加。

4. 在 ЯАЗ 柴油发动机一系列主要零件(連杆螺栓,排气閥)热处理质量的檢驗上,成功地应用了所述的磁性检查方法。

(白云凱譯自 *«Современные сплавы и их термическая обработка»*
Машгиз, Москва, 1958, 桂立丰校)

根据X射线衍射线宽度测定钢的硬度

[美国] R. E. Marburger 等

以往馬氏体衍射线宽而不对称的性质在淬硬钢的X射线衍射研究中造成了很大的困难。本文指出,利用馬氏体线宽度随硬度的增加,就有可能应用X射线法进行快速的非破坏表面的硬度测定。

文中描述了一种测定闊馬氏体线宽度的简化方法。这种方法采用了在测量淬硬钢中残余应力时应用的三点抛物线拟合技术。因此,能应用在测定残余应力中所得的相同数据来计算表面硬度。

前言

从事淬硬钢的X射线衍射工作的许多研究者,已经注意到馬氏体衍射线宽度随钢的硬度上升而增加的事实。例如,他们使用了衍射仪来获得跨过衍射线的强度测量。然后将这些数据作图,同时测量半高度处的线宽度。于是在测得的硬度与半宽度之间得到一个相当好的关系。

本文的目的是描述一种比现时可能的方法要快得多的方式获得馬氏体线半宽度的技术。所述的新方法与已有的方法相比较,有如下的优点:(1)只测量四点,毋须获得相当于完整峰形的大量点子;(2)没有必要将数据作图;可将数据代入单一的公式来获得半宽度;(3)用于计算宽度的数据亦能使用于计算被研究表面上的残余应力。此外,本文将提供一种用已知硬度的钢作出的峰宽-硬度的标准曲线。借助于这种曲线,就能进行表面硬度的非破坏测定。

发展的基础

由于馬氏体衍射线的漫散性质,用底片法对其作出详细的X射线衍射研究极为困难,所以使用计数器衍射仪进行这类研究是很必要的。在进行残余应力的测定中,这是主要的问题。近年来由于衍射仪的应用,直接测量跨过馬氏体衍射峰的强度分布已成为可能,其测量的精密度取决于所用的计数时间。如Christenson和Rowland在1953年介绍了一个有用的经验方法,对用 C_{α} 辐射得到的(211)馬氏体反射进行对称化。

此法基于对跨过线的强度分布进行了详细的衍射仪研究。1958年,本文作者指出过馬氏体线的不对称性是受到与 θ 相关的X射线强度因数的影响所致,而这些线可由与 θ 相关的因数进行校正来对称化,这些因数主要是洛伦兹-偏振因数和处在与 θ 相关的条件下的吸收因数。另外又指出,对称轴(即峰的位置)可由三点抛物线拟合技术来准确地决定。基于上述的发展,证明了X射线残余应力技术具有广泛的实用性。

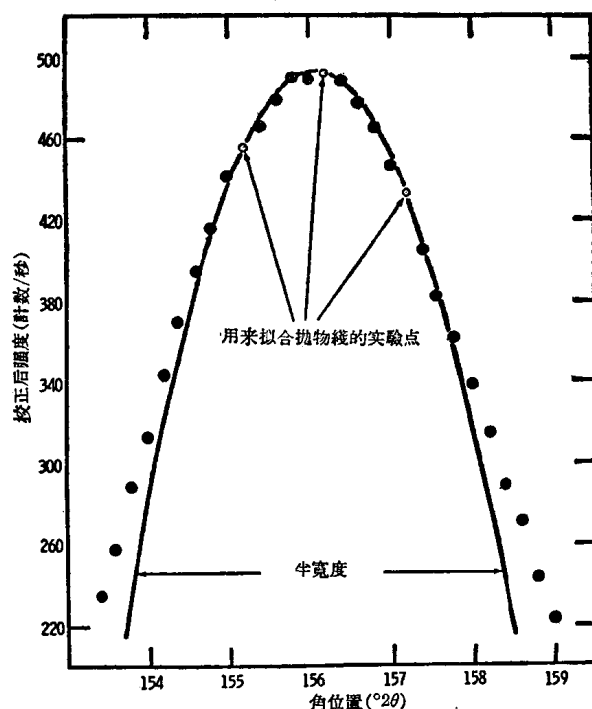


图1 (211)馬氏体线在半高度以上用来拟合的抛物线与校正后的实验强度分布

因为三点抛物线拟合技术对快速决定闊馬氏体线峰的位置非常有用,所以作者們决定把同样的概念应用到研究測量峰寬問題上。这样,峰寬随硬度的变化就可加以利用。

討 論

在进行这种性质的研究时,首先是将靠近峰頂的三点所决定的抛物线拟合与馬氏体衍射线的实验数据进行比較。

图1表示(211)馬氏体线在半高度以上的实验强度分布。这些实验数据已对底影以及 θ 相关的一些可应用的X射线强度因数作了校正。

实线为由三个标记的实验点算得的抛物线。在下面的方程式(9)中导出了该抛物线的表达式。可以看出,下至半高度处的拟合是非常令人满意的。对处于硬度范围很大的試样的(211)馬氏体衍射峰进行抛物线拟合后指出,在半高度处的抛物线宽度正好略为小于衍射峰的宽度。我們可以作出这样的結論:即在实际峰的半高度处測量的抛物线宽度(称为抛物线的半高度),能再出現实际的实验强度分布的半宽度特征。

拟合于三点的抛物线,导出其宽度的代数表达式是很简单的。以抛物线的一般方程式作为起点:

$$(x-h)^2 = \alpha(k-y) \quad (1)$$

在这种情况下, x 代表衍射角 2θ , y 为校正后的衍射强度, h 为峰的位置,而 k 为强度的最大值。

在任何部分的高度 $y_A = Ak$ 处,宽度表达式可直接根据方程(1)获得:

$$|x-h| = [\alpha(k-Ak)]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

总宽度二倍于 $|x-h|$,或:

$$B_A = 2[\alpha k(1-A)]^{\frac{1}{2}} = 2[1-A]^{\frac{1}{2}}[\alpha k]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

在半高处($A = \frac{1}{2}$)的特殊情况下,宽度为

$$B_{2/1} = 2[\alpha k/2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

常数 α 可依三点技术的参数来表示。在三点抛物线拟合方法中,所选择的三点必須位于等角間距上(即是坐标 x 的相等間距)。换言之,如图2所示,如果第一点的角位置为 x_1 ,則第二点的位置为 x_1+c ,和第三点的位置为 x_1+2c 。这样,問題就簡化为求解三个相当于表示三被測点的联立方程式:

$$(x_1-h)^2 = \alpha(k-y_1) \quad (5)$$

$$(x_1+c-h)^2 = \alpha(k-y_2) \quad (6)$$

$$(x_1+2c-h)^2 = \alpha(k-y_3) \quad (7)$$

当对 α 求解这些方程式,消去 h 及 k ,于是得到:

$$\alpha = 2c^2/(a+b) \quad (8)$$

此处(如图2所示)

$$a = y_2 - y_1 \text{ 和 } b = y_2 - y_3$$

因此,所拟合的抛物线方程为[将(8)式代入(1)式]:

$$(x-h)^2 = (k-y)[2c^2/(a+b)] \quad (9)$$

根据图2所示,峰的位置表达式給定为:

$$h = x_1 + c/2[(3a+b)/(a+b)] \quad (10)$$

下面将应用这个結果。

将(8)式代入(4)式后,对于半宽度得到下列結果:

$$B_{1/2} = 2[kc^2/(a+b)]^{1/2} \quad (11)$$

半宽度的这种表达式形状特別简单,而且是数 a , b 和 c 的函数,这些数字也都是用来决定峰的位置的。原則上,可从方程(5)、(6)和(7)解出 k ;但由方程(10)决定了峰的位置后,把衍射仪調节到这个角位置上时,再用实验方法測量 k 就更为简单。

簡言之,已指出的抛物线半宽度是再出現衍射峰半宽度的特征指标。这就进一步說明了抛物线半宽度是很容易且迅速地測得的。有关測量的利用尚需加以例証。

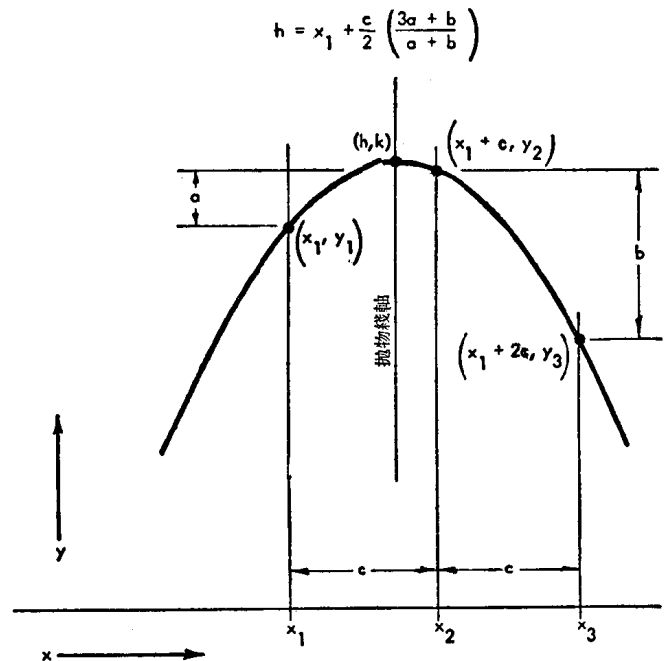


图2 拟合于三点的抛物线图解

实 驗

为了研究峰的宽度随硬度的变化,制备了一系列 SAE 52100 回火馬氏体鋼試样,以便得到硬度范围在 29~65 R_C 的回火馬氏体組織。試样的制备如下:

試样——具有 3/16 吋厚的鍍銅层,直径为 1 吋的 52100 圓盘;

热处理——正火——1,750°F 下保温 1 小时,油淬;

1,550°F 奥氏体化 1 小时后油淬;

回火——如表 1 表示;

除去鍍銅层——用电抛光除去表面 0.002 吋。

对每个試样测定了 X 射线衍射参数 $B_{1/2}$, 如表 1 中的 8 号試样,在下列的数值例子中,很清楚地說明了测定方法。选用不同的角間距 c , 作了两次計算。該例演示了方法的再現程度,同时亦对其拋物綫性

表 1

試样編号	回火温度 (°F)	回火时间 (小时)	硬度 (在洛氏硬度試驗机上測得)
1	300	1	65.1
2	400	1	61.2
3	500	1	60.6
4	700	1	58.0
5	800	1	54.1
6	900	1	51.5
7	1,000	2	48.0
8	1,100	2	40.0
9	1,200	2	35.0
10	1,300	2	29.0

进行了很好的試驗。

測得的硬度——40.0 R_C

实验条件—— C_r , K_α 輻射——束状光闌 3°

檢測光闌 0.2°

(衍射仪)——0.001 吋鈳滤波器——100 秒的計数时间

2θ	測得的强度	校正因数	校正后强度	a	b	c	峰 的 位 置
156.35	175,880	0.651	114,448	14,182	16,076	0.25	$155.85 + 0.242 = 156.092$
156.10	197,840	0.660	130,574				
155.85	174,240	0.668	116,392	7,566	10,639	0.2	$155.90 + 0.183 = 156.083$
156.30	183,950	0.652	119,935				
156.10	197,840	0.660	130,574				
155.90	184,420	0.667	123,008				

峰的位置由本文中的方程(10)算得

二次峰的位置平均測量值: 156.088° 2θ 。

k (在 2θ 等于 156.088° 时測得) = 193,690;

在此角度下估計的底影 = 8,432,

k - 底影 = 185,258。

估計的底影是由奥氏体鋼的底影变化知識和該試样在 $2\theta = 135^\circ$ (那里不存在衍射綫) 处的底影測量获得的。如果峰对底影之比很大,則可省去这一步驟。甚至在比率相当高时,亦不必对底影校正 ($a+b$)。利用校正因数——衍射角曲綫在所使用的角度范围内成直綫的事实,就可有力地証明这一点。

在这角度时的校正因数: 0.661

經校正的 $k = 122,456$

用第一組数据:

$$\frac{kc^2}{a+b} = \frac{(122,456)(0.0625)}{30,258} = 0.25$$

$$B_{1/2} = 2[0.25]^{1/2} = 1.0$$

用第二組数据:

$$\frac{kc^2}{a+b} = \frac{(122,456)(0.04)}{18,205} = 0.27$$

$$B_{1/2} = 2[0.27]^{1/2} = 1.04$$

对于数据与拋物綫拟合之間一致性的一个良好鉴别,是应用二个不同角間距来比較二个不同的 $kc^2/(a+b)$ 計算。如果得到了合理的符合,这个一致性就表示为:(1) 峰的拋物綫范围是被利用了;(2) 数据中沒有重大的誤差。对每一个試样說来,照这个方式測定 X 射线衍射参数 $B_{1/2}$ 。

在图 3 中画出了这些測定結果。实验数据用点子来代表。实践方程为

$$\text{硬度}(R_C) = 39 + 12.9 \log_e B_{1/2} \quad (12)$$

可知这条实践对实验数据的符合程度是很好的。

这个經驗方程虽非最好的拟合,但它是一个合理的数据描述中最简单的数学表达式。

在所研究的硬度范围的上端, $\alpha_1 - \alpha_2$ 譜綫的双重綫完全未被分解,而在下端这种双重綫是分解了