

钢 的 淬 透 性 手 册

傅代直 林慧国 周人俊 俞元亮

编 著

内 容 提 要

在冶金和机械制造工业中，钢的淬透性常常是发展新钢种需要考虑的一个问题，也是设计零件时选择钢种材料和生产上选择热处理工艺的重要根据之一。本书是一本有关钢的淬透性方面的专业工具书。全书共分六章，较系统地叙述了淬透性对钢的组织与性能的影响，淬透性的判定标准，影响钢的淬透性及工件淬透层深度的各种因素；并且还简介了各国测定淬透性的各种主要方法，而对我国现行标准中的有关测定方法则作了较详细的叙述。

书中共选编了 220 多个钢种的淬透性曲线图。为了面向广大读者，本书着重介绍了如何实际应用这些淬透性曲线图，并举例说明，浅近易懂。

本书可供机械和冶金工厂、设计和科研单位的工人、技术人员参考。

钢的淬透性手册

傅代直 林慧国 等 编 著

*

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）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $11 \frac{3}{16}$ · 插页 1 · 字数 244 千字

1973 年 8 月北京第一版·1973 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—41,000 · 定价 1.17 元

*

统一书号：15033 · 4171

目 录

符号名称对照表

第一章 钢的淬透性概述	1
§ 1 淬透性的意义	1
§ 2 淬透性对钢的组织及性能的影响	4
§ 3 淬透性与奥氏体转变曲线的关系	11
§ 4 淬透性的判定标准	15
第二章 影响淬透性的因素	18
§ 1 奥氏体化学成分的影响	18
§ 2 奥氏体均匀度和奥氏体化温度的影响	21
§ 3 奥氏体晶粒度的影响	24
§ 4 奥氏体中非金属夹杂物和稳定碳化物的影响	26
§ 5 钢的原始组织的影响	27
第三章 影响淬透层深度的因素	29
§ 1 冷却速度的影响	29
§ 2 淬火剂的影响	31
§ 3 工件尺寸大小的影响	34
第四章 淬透性的测定方法	36
§ 1 各种淬透性测定方法简介	36
§ 2 碳素工具钢淬透性试验法	43
§ 3 末端淬透性试验法	46
§ 4 计算法	55
第五章 淬透性曲线图的应用	63
§ 1 怎样应用淬透性曲线图	63
§ 2 根据工艺所要求的硬度, 求出相应的各种工件截面尺寸	66

VII

§ 3 根据淬透性曲线, 求出不同直径棒材(或圆柱形工件)截面上的硬度分布曲线·····	67
§ 4 根据工件的工艺要求, 选择适当钢种及其热处理制度·····	72
§ 5 根据淬透性曲线, 求出理想临界直径或实际临界直径的大小·····	78
§ 6 根据淬透性曲线, 确定工件的淬透层深度·····	82
第六章 淬透性曲线图·····	86
§ 1 优质碳素钢·····	88
§ 2 合金结构钢·····	98
§ 3 弹簧钢和轴承钢·····	270
§ 4 工具钢·····	284
附录·····	317
1. 温度换算表·····	318
2. 长度换算表·····	322
3. 各种硬度及强度近似值换算表·····	323
4. 各国间洛氏硬度基准值的比较·····	326
淬透性曲线图索引·····	329

第一章 钢的淬透性概述

§ 1 淬透性的意义

伟大领袖毛主席教导说：“一个粮食、一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。”钢铁是现代工业上用途最广的金属材料。钢的产量和品种是衡量一个国家工业化基础的重要指标之一，它在工业建设上占有重要的地位。

大家知道，钢的性能与它的化学成分和它的金相组织都有密切的关系。化学成分是由冶炼操作所控制的，而金相组织却可以用热处理的方法来调整。因此，在制造机械零件时，要想达到合理使用钢材的目的，除选择化学成分合适的钢种外，还必须进行适当的热处理，才能充分发挥钢的优良性能。

为了经济合理地选择和使用工业用钢，以及正确地进行钢的热处理，对于钢的淬透性进行测定和了解是有很实际意义的。在机械制造业中，钢的淬透性已成为制造零件时选择钢种和生产上选择热处理工艺的主要根据之一。

淬透性，也叫可淬性，它是钢的一种属性，是指钢接受淬火的能力，通常用淬透性曲线图来表示。

淬火是常用的一种热处理工艺。对于结构钢和工具钢来说，淬火的目的是为了获得马氏体组织。工件经淬火后，一般从表面到内部一定深度均获得马氏体组织。然而，不同的钢种，接受淬火的能力不同，因而从工件表面到内部的截面上淬成马氏体组织的深度也不同；淬成马氏体组织的深度愈

大，表示该钢种的淬透性愈高[●]。这种马氏体组织的深度通常被称为淬透层深度或淬透深度，也有人称为淬硬层厚度。

钢的淬硬性，也叫可硬性，是指钢在正常淬火条件下，以超过临界冷却速度所形成的马氏体组织能够达到的最高硬度。它和淬透性在意义上是有区别的。淬硬性主要与钢中的碳含量有关。更确切地说，它决定于淬火加热时固溶在钢的奥氏体中的碳含量；固溶在奥氏体中的碳含量愈多，淬火后的硬度便愈高。淬火硬度与碳含量的关系，见图 1-1。另外，

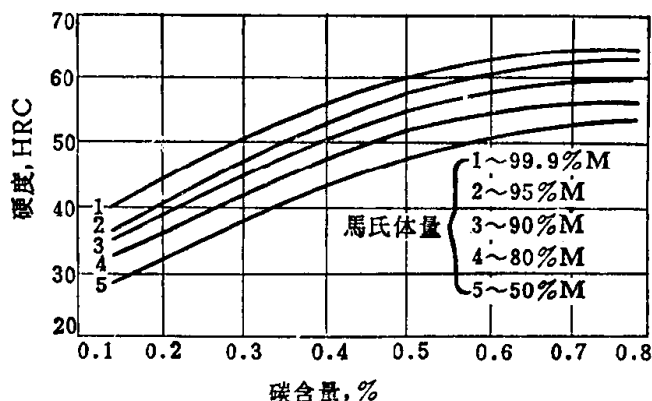


图1-1 淬火硬度与碳含量的关系。

它与冷却速度、工件尺寸和晶粒大小等也有一定的关系。至于合金元素的含量，对淬硬性没有显著的影响，但对钢的淬透性却影响较大。

由于淬透性与淬硬性两者的意义不同，因此应当注意：淬火后，硬度高的钢不一定淬透性高，而硬度低的钢也可能具有高的淬透性。

了解和测定钢的淬透性是有很大的实际意义的。首先，它给钢的使用部门与机械设计人员在选择钢种时提供了一项

● 关于淬透性的判定标准见本章 § 4。

重要的参考数据。譬如，当某些工件的内部力学性能对于使用条件没有很大影响的情况下，那么选用淬透性较低的经济钢种就可以了；反之，如果要求工件整个截面上有较均匀的力学性能时，就必须选用能保证适当淬透性的钢种。其次，热处理工作者更是希望知道钢的淬透性高低，以便决定在工艺上能否采用缓和的冷却介质，以减少工件的热处理应力和热处理变形。对于大截面的工件，只有淬透性相应高的钢种才能保证淬透，从而得到均匀的组织 and 性能。对于受负荷较大的机械零件，为了使其在调质处理后能获得良好的综合力学性能，也需要选用适当淬透性的钢种。总之，在合理选择与使用钢种时，钢的淬透性常常是一个必须考虑的重要条件。

毛主席教导说：“……肯定一切或者否定一切，都是片面性的。”对于钢的淬透性也要用“一分为二”的辩证观点来看待。如果不问工件使用条件的具体要求，却一意要求钢的淬透性越高越好，那就不对了，甚至可能产生“适得其反”的结果。例如：

1. 对于焊接的工件，若选用淬透性高的钢种，就容易在焊缝热影响区内形成淬火组织，从而导致焊件变形并增加脆性，甚至产生裂缝，这样就会使焊接工艺复杂化；

2. 渗碳钢也不一定要求有很高的淬透性，气体渗碳后进行直接淬火时，如果钢的淬透性过高，会导致残余奥氏体量增加，反而使硬度降低，达不到所规定的性能要求；

3. 高频淬火的工件系在很短时间内进行表面加热，钢的淬透性一般并不起多大作用。

因此，我们应该根据工件的工艺特点和工作条件的要求，恰如其分地选择具有适当淬透性的钢种。如果片面要求选择淬透性过高的钢种，不仅在力学性能方面得不到益处，反而

造成国家资源上的浪费。因为通常是利用向钢中加入合金元素的途径来改善钢的淬透性的，要求过高的淬透性，势必消耗过多的合金元素，这是不符合“勤俭建国”的方针的。

为了达到经济合理地选择具有适当淬透性的钢种，就需要测定各钢种的淬透性，了解其淬透层的硬度分布情况，并探讨各种因素对淬透性的影响，从而掌握一定的科学规律。由此可见，研究钢的淬透性及其淬透性曲线图的实际意义是很大的。

§ 2 淬透性对钢的组织及性能的影响

钢淬火后的金相组织，不仅与工件的尺寸大小和淬火时冷却条件等因素有关，而且与钢的淬透性高低有密切的关系。如果工件尺寸和淬火条件一定时，则钢的淬火组织仅由淬透性决定；而淬火组织，当回火温度一定时，却成为影响钢在调质处理后力学性能的重要因素。例如，有两个工件，其回火后的硬度虽然相同，但是并不等于它们的力学性能也完全相同。如果其中一个工件的硬度是由完全淬透的马氏体组织经回火后获得的；而另一个工件由于没有完全淬透而含有部分非马氏体组织，经回火后虽然也获得了相同的硬度值，可是它们的力学性能却有明显的不同。完全淬透的工件，具有较良好的综合力学性能，即它的屈服强度、屈强比、疲劳强度、冲击值和面缩率等都比较低，而脆性转变温度却比较低。这表示：当这两个工件处于同一强度指标时，前者将具有较好的韧性；如果回火后使两者处于同一韧性指标时，则前者会具有更高的强度。

工件在淬火时，由表面到中心各个部位的冷却速度是不同的。表面的热量为冷却剂直接吸收，冷却最快。而中心部

位的热量需经过金属本身的热传导作用才到达表面，然后为冷却剂所吸收。所以，愈接近中心的部位，冷却愈慢。

冷却速度的快慢，对奥氏体的过冷度及开始相变的温度有显著的影响。冷却速度慢，则奥氏体的过冷度小，奥氏体便会在较高的温度开始相变，这样所获得的马氏体组织量便相应地减少。以碳素钢为例，可用图 1-2 来示意说明。

图 1-2, a) 表示冷却速度对淬透层深度的影响。假设工件是一圆柱体，则自表面至中心各处的冷却是逐渐且连续地降低的，表面的冷却速度最大 ($V_{\text{最大}}$)，而中心的冷却速度最小 ($V_{\text{最小}}$)。曲线 1 表示冷却速度的变化。曲线 2 表示淬火状态硬度的变化。当冷却速度为 V_h 时，所得到的是含有 50% 的马氏体的淬硬层，即自表面至 h 处的深度，通常称之为淬透层深度。曲线 3 表示尽管淬火后表面和中心的硬度相差很大，但经回火后一般表面与中心的硬度相差较小。

图 1-2, b) 表示淬火连续冷却时奥氏体相变的情况。 Ar' 为过冷奥氏体转变为珠光体的开始温度，它随冷却速度的增加而降低。如图所示，愈近表面，冷却速度愈大，奥氏体的过冷度就愈大， Ar' 降低得也愈多，而奥氏体的分解产物也就愈细。当达到一定的冷却速度时，就使奥氏体发生两种类型的相变——珠光体转变和马氏体转变。当冷却速度进一步增加达到 V_c 时，过冷奥氏体就不再有珠光体类型的转变，而只有马氏体类型的转变，此时，冷却速度 V_c 就称为临界冷却速度。

由此可知，正是由于冷却速度的不同，所以由工件表面至中心便得到不同的组织。如图 1-2, c) 所示，由表面往内

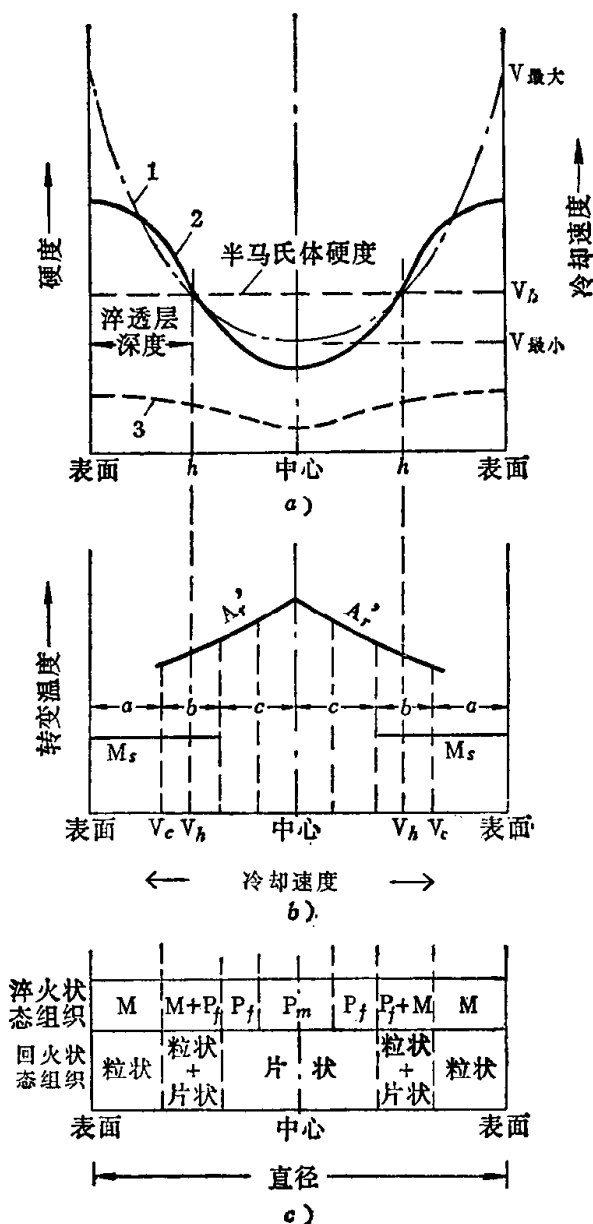


图1-2 沿淬火试样不同深度的冷却速度、硬度和组织的变化示意图:

1—冷却速度变化曲线; 2—淬火状态硬度变化曲线; 3—回火状态硬度变化曲线; A_r' —过冷奥氏体转变为珠光体的开始温度; M_s —过冷奥氏体转变为马氏体的开始温度。

部(深度 a)，由于冷却速度很大，故全部为马氏体(M)；再往内部(深度 b)的组织是马氏体和极细珠光体(M+P_f)的混合组织，再往深处，由于冷却速度逐渐变小，所得到的混合组织中的极细珠光体量愈加增多，马氏体量愈加减少；过此以后就是极细珠光体(深度 c)。而在工件的中心附近，冷却速度最小，奥氏体的过冷度也最小，过冷奥氏体的转变温度 $A_{r'}$ 增高，因而只能获得细珠光体(P_m)，甚至可能出现有粗珠光体(P_c)组织。

淬透性不同的钢，淬火后所得到的淬透层深度便不同，金相组织也不相同，因而沿截面分布的力学性能也就不同。如图1-3， a)、 b)、 c)分别表示淬透性不同的三种钢，在同一条件下经淬火后所得到的不同情况。图1-3， a)表示钢的淬透性最高，使整个截面能够淬透；图1-3， b)表示钢的淬透性稍差，只有中心未被淬透；图1-3， c)表示钢的淬透性最低，只有表面得到不深的淬透层。若将这三种钢

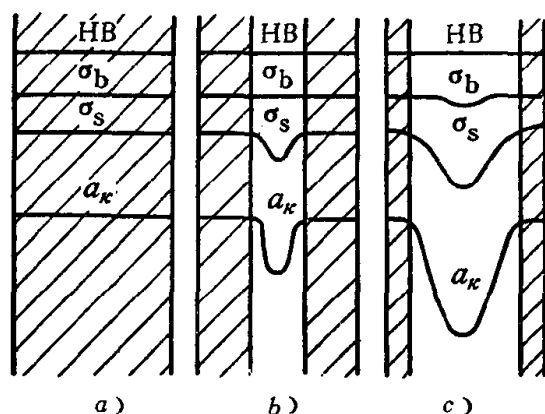


图1-3 淬透层深度对淬火并回火后
钢的力学性能的影响。
(斜线部分表示淬透层)

均回火至同一硬度水平，如图所示：完全淬透的钢，整个断面上的性能均匀一致（图1-3，*a*）；未淬透的钢，经回火后虽也能使整个截面上的硬度趋于一致，但在未淬透部分， σ_s 和 α_k 均呈显著的下降（图1-3，*b*、*c*）。未能淬透的部分越多，性能也越差。造成这种差别的重要原因是：在淬火时，中心未淬透部分形成了非马氏体组织，回火后仍保持其片状组织（参见图1-2，*c*），而在表面层已获得马氏体的部分，回火后分解为在铁素体的基体上含有粒状碳化物的铁素体和碳化物的混合物组织（即索氏体），故综合性能较好。即使同一成分的钢，而且即使在调质后使其碳化物的分散度相同，或者硬度相同的情况下，含有粒状碳化物的钢，总是比含有片状碳化物的钢具有更高的综合力学性能。如果某种钢在淬火后未能防止片状组织的生成，甚至不能抑制铁素体的析出，则回火后不仅 σ_s 和 α_k 较低，而且硬度和强度一般也都较低。

图1-4系40CrMo结构钢淬火后得到不同的硬度，然后每一组分别回火至同一硬度时的力学性能变化。由图中曲线可以看到：当每一组钢回火到同一硬度时，就显示出淬火硬度愈高的，即淬火愈接近完全和所获得的马氏体量愈多，则钢的力学性能便愈好，所以曲线一般向右上升。但是各项力学性能的曲线斜率并不一样，这表明，在同一回火硬度值时，抗拉强度 σ_b 受淬火硬度的影响并不大，屈服点 σ_s 、延伸率 δ 、面缩率 ψ 受其影响较大，而冲击值 α_k 则受其影响最显著，即它的曲线斜率最大。

图1-5表示直径为12~100 mm的碳素钢和低合金钢，在油淬后并经540℃、595℃和650℃回火的屈强比与淬火不完全度的关系。淬火不完全度以 $(R_N - R_Q)$ 之硬度差表示，

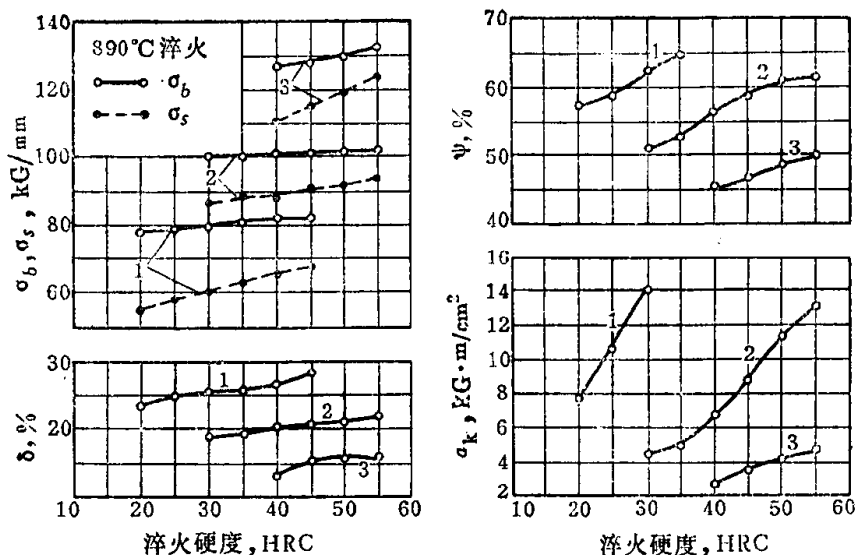


图1-4 40CrMo钢淬火不完全程度对回火后力学性能的影响:

1—回火后硬度 HRC20; 2—回火后硬度 HRC30; 3—回火后硬度 HRC40。
(40CrMo 试验用钢, C 0.40%, Si 0.24%, Mn 0.72%, Cr 1.05%,
Mo 0.16%, Cu 0.3%, P 0.019%, S 0.023%)

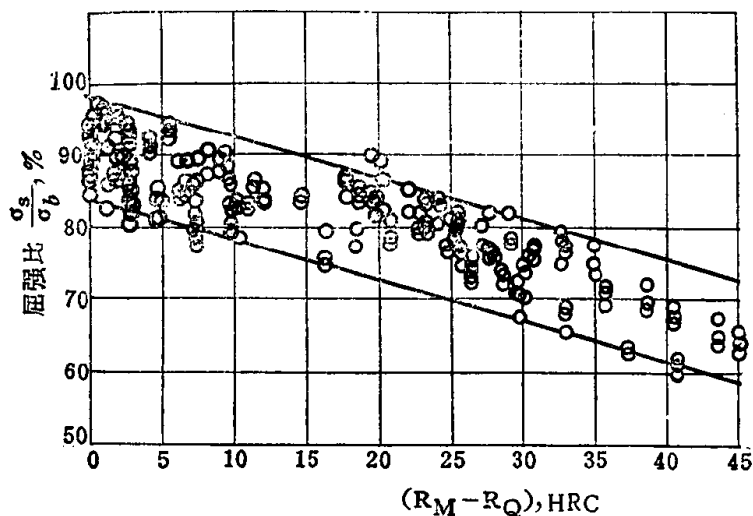


图1-5 淬火不完全度($R_M - R_Q$)对屈强比($\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$)的影响:

R_M —该钢成分可能达到的最大淬火硬度; R_Q —该钢成分
实际淬火时所获得的淬火硬度。

两者的差值愈小，即淬火不完全度愈小，所得到的马氏体量愈多，故 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 比值愈高。从图中还可看出，在同一的 $(R_m - R_o)$ 差值时， $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 比值并不固定，而是在一个范围内波动，但其趋势是随 $(R_m - R_o)$ 差值的增大， $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 比值逐渐降低。良好的淬火， $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 比值在85%以上。

淬火完全的钢还具有较高的冲击值和较低的脆性转变温度。图 1-6 表示 40Mn2 钢在完全或各种不完全淬成马氏体后，并都回火到 HRC 35 的硬度时对冲击值的影响。从图可知：淬火后马氏体量愈多，冲击性能愈好。未完全淬成马氏体的钢，回火后冲击性能较低，是由于除有回火马氏体外，还有其他组织存在的缘故。

钢的疲劳性能也与淬火后的组织中存在非马氏体量的多

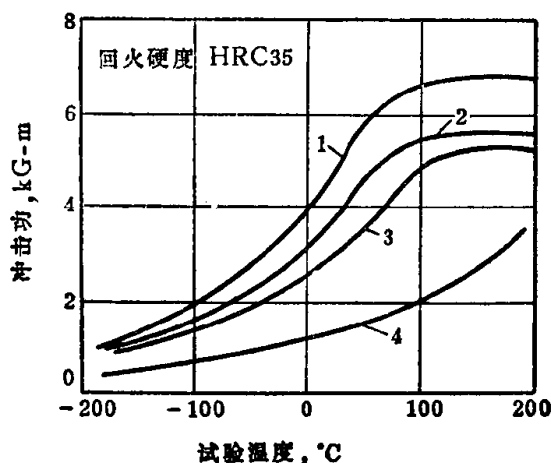


图1-6 淬火后的马氏体量对冲击值的影响：

- 1—水中淬火，M100%，HRC58，2—M85%，HRC51，
3—M70%，HRC47，4—M40%，HRC40。

少有关。例如，用 40Mn2 等五种钢，每种钢均经不同的淬火处理，分别获得不同的马氏体量，然后均回火至同一硬度 (HRC 36)，疲劳性能试验结果如图 1-7 所示。从图看出，淬

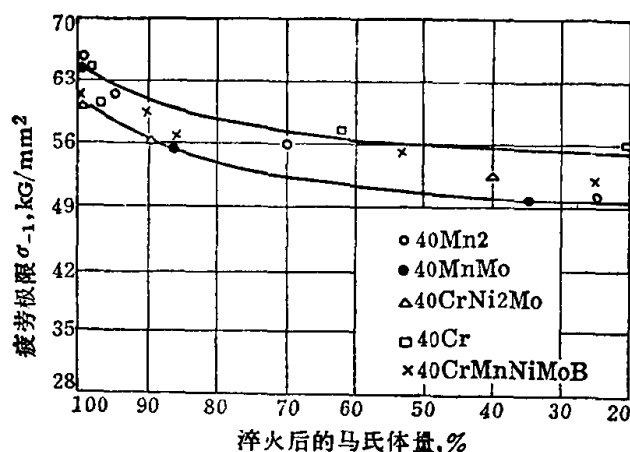


图1-7 淬火后的马氏体量对疲劳极限的影响。

(调质到同一硬度 HRC36)

火后的马氏体量愈多，钢的疲劳性能也就愈好。

由上可知，淬透性对钢的组织及性能的影响很大。工件的力学性能要求越高，尤其是当工件的截面尺寸很大时，淬透性的影响也就显得越大。

§ 3 淬透性与奥氏体转变曲线的关系

根据控制奥氏体转变的冷却方式不同，奥氏体在过冷时的转变可分为等温转变和连续冷却转变。

奥氏体等温转变曲线表示出钢从奥氏体化温度冷却至 M_s 之间的任何温度时，是需要较缓慢地冷却，还是需要迅速地冷却，才能避免高温或中温转变产物的能力，也就是表示钢加热奥氏体化后接受淬火的能力。

奥氏体连续冷却转变曲线的基本形状，与等温转变曲线大体相似。如果把两者叠绘在一起（图1-8），可以看出，连续冷却转变曲线或多或少地向右方和下方移动，这表示在连续冷却时的转变温度将会更低些，而转变时间也更长些。

对碳素钢来说，等温转变和连续冷却转变这两者最大的区别还在于：等温转变是在整个转变温度范围内都可能发生转变，只是孕育期有长短而已；但连续冷却转变却有所谓不发生转变的温度范围（ $450 \sim 150^\circ\text{C}$ ），如图1-8所示。淬火冷却曲线 V_c 是表示淬火时避免获得高温或中温转变产物的最低

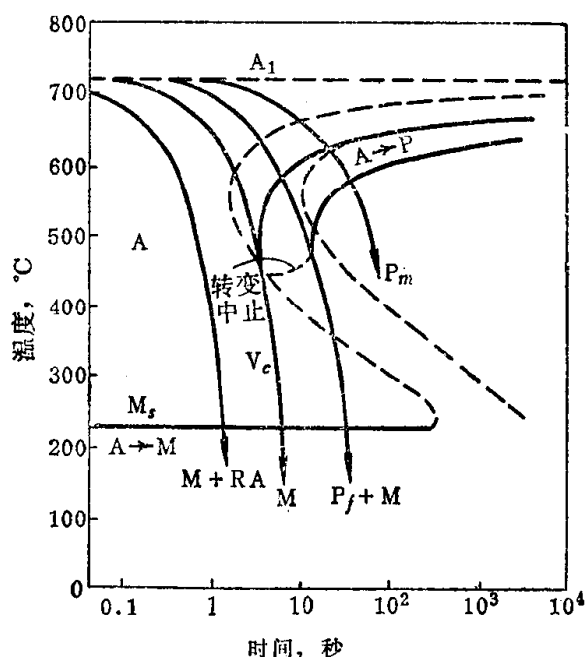


图1-8 共析碳素钢的冷却曲线与奥氏体转变曲线的关系：

—— 连续冷却转变曲线；----- 等温转变曲线；
 ——→ 淬火冷却曲线。

冷却速度，即通常所称的“临界冷却速度”或“临界淬火速度”。当以大于临界冷却速度进行冷却时，所得到的组织是马氏体及残余奥氏体（以 RA 表示）。如果以小于临界冷却速度进行冷却，由于冷却速度的变慢，将分别获得不同粗细的珠光体组织（ P_m 或 P_f ）。

临界冷却速度的大小可以大致地依照奥氏体等温转变曲线用图解法求得。如图 1-9 所示，自临界点 A_1 引一直线，与等温转变开始曲线的“鼻端”（即拐弯处）相切，即可用下列公式求得近似的临界冷却速度 V_c ：

$$V_c := \frac{A_1 - t_m}{\tau_m}, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{秒}$$

式中 A_1 ——临界温度（平衡时的）；
 t_m ——等温转变曲线与切线相切处的温度，
 τ_m ——奥氏体最小稳定度的时间。

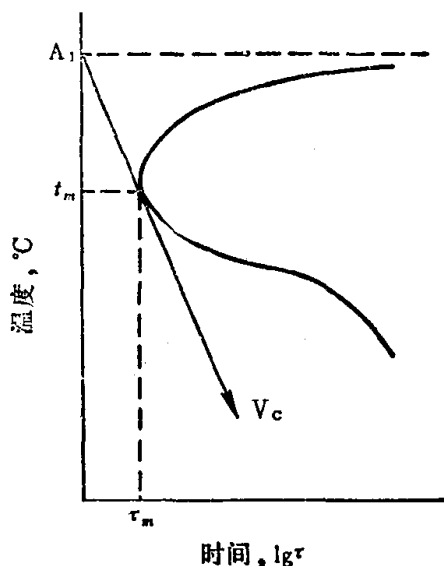


图1-9 临界冷却速度与等温转变开始曲线的关系。