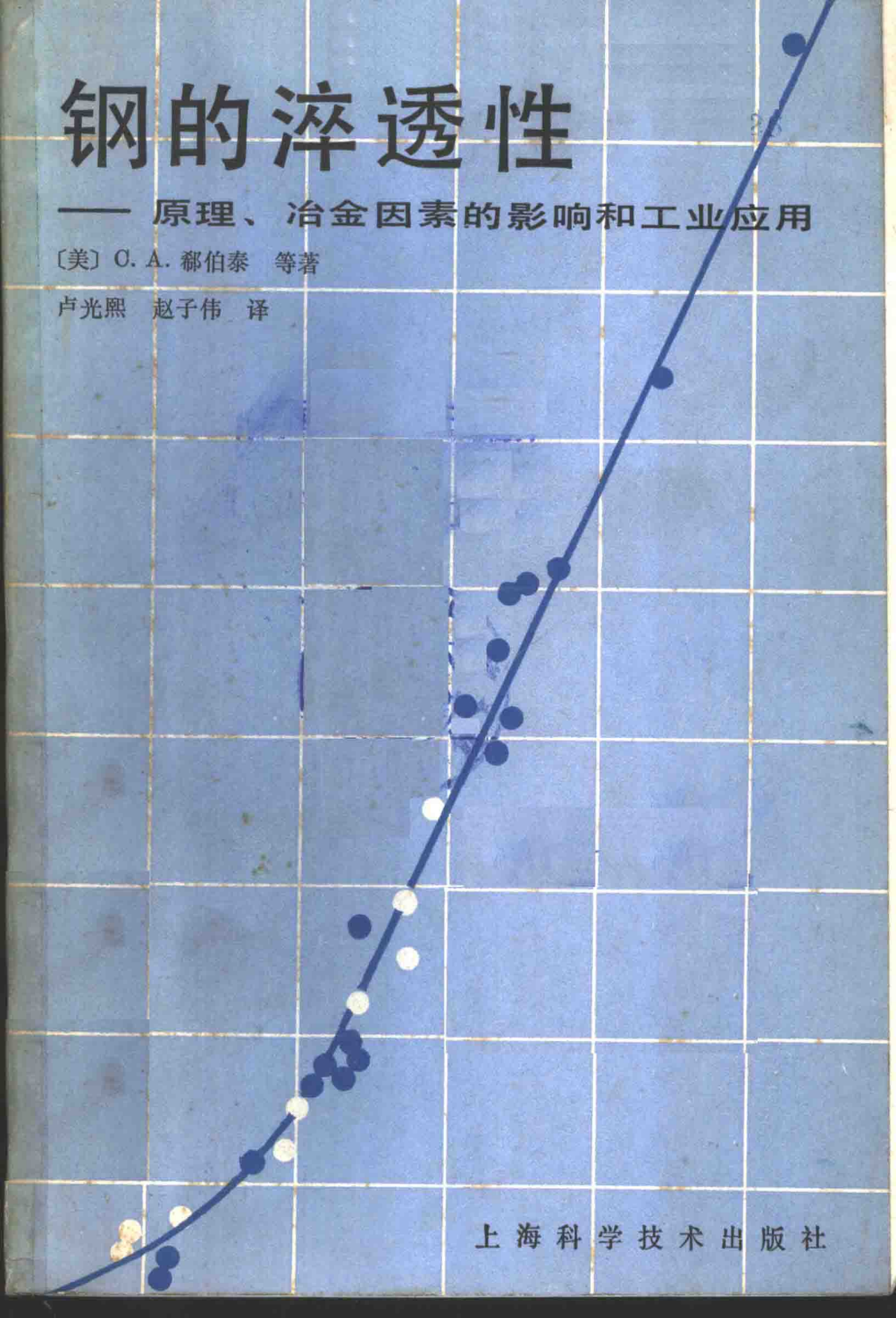


钢的淬透性

—— 原理、冶金因素的影响和工业应用

[美] O. A. 郝伯泰 等著

卢光熙 赵子伟 译



上海科学技术出版社

钢 的 淬 透 性

——原理、冶金因素的影响和工业应用

[美] C. A. 郝伯泰 等著

卢光熙 赵子伟 译

上海科学技术出版社

内 容 提 要

钢的淬透性不仅是机械制造中合理选用钢种和正确制定热处理工艺的重要根据,而且也是冶金工业中发展新钢种常需考虑的问题。随着新的研究方法的发展,钢的淬透性问题已重新引起了人们的注意。本书简要地综述了钢的淬透性原理和试验方法、影响淬透性的冶金因素、淬透性原理和资料的应用以及淬透性的最新发展,着重介绍了如何根据钢的化学成分预测钢的淬透性、包括预测渗碳件的淬透性的方法,以及运用电子计算机根据成本-效果对钢的成分进行优化设计的方法。书末附有参考文献 170 篇。

本书的序言、导论及第一章、第二章由上海工业大学赵子伟翻译,其余为吉林工学院卢光照所译。

本书可供从事金属材料和热处理工作的工程技术人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

Siebert C. A., Doane D. V. & Breen D. H.

The Hardenability of Steels

— Concepts, Metallurgical Influences,
and Industrial Applications

American Society for Metals, 1977

钢 的 淬 透 性

——原理、冶金因素的影响和工业应用

[美] C. A. 郝伯泰 等著

卢光照 赵子伟 译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 850×1166 1/32 印张 6.5 字数 171,000

1984 年 11 月第 1 版 1984 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—5,100

统一书号: 15119·2352 定价: 1.30 元

序 言

近年来,关于淬透性的问题已经重新加以注意,主要是集中于已知原理和现有资料的应用方面,以便更可靠地预测钢件的硬度和显微组织.四十五年来,该领域的先驱者们在这方面积累了一些资料,他们提出的基本原理经受了时间的考验.然而,欠完善的是,尚缺少某些影响淬透性的各冶金变量之间相互作用的较为定量的数据.近来用电子计算机对大量淬透性数据进行回归分析的尝试相当成功,甚至在本书付印时,有关这方面的新著作还在问世.

冶金和机械制造业某些情况的变化,提高了当前对淬透性研究和应用的积极性.其中包括希望继续降低材料费用和加工成本,改变常用钢材和合金元素的供应情况与价格,以及考虑采用新的加工方法,这些都需要对所使用的钢重新加以仔细的评价.

所有上述各种考虑都对有关钢的淬透性的评述起了促进作用.读者可以注意到本书中的大量图表——有些是初次发表的,但大多数是引自现有的文献.作者们意识到关于该课题的某些有价值的早期著作正在迅速散失,因此我们期望本书将为保存那些早期文献创造条件.

虽然参考文献一览表很长,但并没有包括全部淬透性方面的文献.作者们经过了严格的选择,而且只挑选了这方面最全面、最有用的参考文献.此外,如果在该课题的某一方面有几篇文献时,则只引用其中有代表性的.我们曾要求我们在其他国家的同行们提供有价值的参考文献,且其中有许多已被列入,这在导论中已经说明,但于此还要提及的是,关于奥氏体的非马氏体分解产物的形核和长大,已经有了大量论文,本书将不进行讨论.

本书的目的在于尽量提供现有的各种有价值的关于钢的淬透

性资料,作者们力图指出现有数据的前提及其局限性,以便使这些数据可在一定的条件下加以采用。我们试图通过有所侧重和有所删节的办法来体现出我们对这一领域中许多文献的相对价值的判断。本书的目的在于提供一份实用资料,因而对某些问题的阐述要比一般综述更详细,对应时的成本-效果问题的讨论就是其中之一。在本书的这一节中提供了这方面的原始资料,以补充和阐明已经公开发表的文献。最后不可忽视的总结,包括了对今后淬透性研究的建议。作者们希望所有的读者都能注意到这些建议,并为钢的淬透性这个课题作出新的贡献,以便有效地充实某些建议。

本书的两位作者要感谢在最后整理手稿期间去世的另一位作者克莱伦斯 A. 郝伯泰 (Clarence A. Siebert) 教授所作出的贡献,这虽然异乎寻常,但在这种情况下却是非常恰当的。郝伯泰教授是另两位作者的老师、指导者和朋友。若干年来,他们从他卓有见识的建议和敏锐的洞察力中受到极大的教益。他的教学艺术不仅在于使他的学生更好地理解冶金原理,而且引导他们正确地实际运用这些原理。我们期望本书能反映郝伯泰教授的这种教学特点,并以此作为对他的悼念。

此外,我们还要感谢我们公司里的同事们作出的贡献及对我们的关怀,并向为我们提供淬透性方面有价值的参考资料的其他人表示深切的谢意。尤其要感谢国际收割机公司 (International Harvester Co.) 的戈尔登·华尔特 (Gordon Walter)、约翰·斯庞吉利 (John Sponzilli) 和琼·兰姆克 (Joann Lemke), 以及克莱麦克斯钼公司 (Olimax Molybdenum Co.) 的乔治·埃耳第斯 (George Eldis)、大卫·莱兰德 (David Leland)、道利斯·比德津斯基 (Doris Bidzinski)、东纳·克路吉希 (Donna Kruzich)、谢尔利·范·奥费谢尔德 (Shirley Van Over-schelde) 和冶金系四年级学生凯文·白林 (Kevin Breen) 在技术内容、插图准备、校订和打字等方面所给予的帮助。

道格拉斯 V. 窦恩 (Douglas V. Doane)

代耳 H. 白林 (Dale H. Breen)

导 论

早在四十五年前,工程技术人员们就对钢的淬透性发生了极大的兴趣。在这期间,发表了许多论文,揭示了淬火前奥氏体的状态、淬火方法以及钢的化学成分对淬透性的影响。在某些情况下,当淬透性的范围很宽时,人们作了一些会导致可疑结果的假设。

通常,淬透性可定义为钢在某一给定条件下冷却时,在给定深度处奥氏体部分地或全部地转变成某一百分数的马氏体的能力。因此淬透性取决于非马氏体产物的形核与长大,取决于影响形核位置的奥氏体晶粒大小,以及合金元素对形核、长大的影响。

如上所述,淬透性的定义主要与显微组织有关。淬透性的测定通常限于硬度法。虽然显微组织与硬度密切相关,但它们必须与钢的碳含量一起考虑,这是因为给定显微组织所能达到的最高硬度值是由碳含量所控制的。美国金属学会金属手册(The ASM Metals Handbook)把铁基合金的淬透性定义为“决定淬火硬度的深度及其分布的性质”,作者们认为还是按上述用显微组织来定义更好。

淬透性通常可方便地用与 50% 马氏体 + 50% 非马氏体转变产物相应的硬度来度量。但是,这可能引起某些混乱,因为这种组织的硬度不但取决于转变产物,也就是珠光体或贝氏体的性质,而且还取决于钢的碳含量。例如,一种低碳合金钢可以比一种高碳钢具有更高的淬透性,但高碳钢在 50% 马氏体处却显示出较高的硬度。因此,根据显微组织来定义淬透性看来更好。淬透性也可以根据某一其他百分数的马氏体,例如 80% 马氏体来定义。但是,多数文献都强调用 50% 马氏体来定义,因为按化学成分来估算淬透性的大量工作都基于格罗斯曼(Grossmann)的理想直径理论,

而该理论用的是 50% 马氏体。

本书包括下列几部分：

1. 淬透性原理：包括淬火、淬透性试验、试验结果与实际应用的关系、奥氏体的转变特性（等温和连续冷却转变图）、以及根据化学成分预测淬透性的原理。

2. 影响钢的淬透性的冶金因素：包括奥氏体的晶粒大小、奥氏体化温度和时间、奥氏体的成分（碳和合金元素的影响），以及奥氏体的调整。

3. 淬透性原理和资料的运用：包括数据的交流方法、钢的处理，以及根据淬透性进行冶金设计。

4. 淬透性预测方面的最新贡献。

本书不包括非马氏体产物的形核、长大方面的大量研究成果。

目 录

导论	1
第一章 淬透性原理	1
§ 1.1 淬火	1
§ 1.2 淬透性试验	16
§ 1.3 淬透性试验结果与实际应用的关系	24
§ 1.4 奥氏体的转变特性	44
(一)引言	44
(二)等温转变图	45
(三)连续冷却转变图	50
§ 1.5 淬透性预测	58
第二章 影响钢的淬透性的冶金因素	60
§ 2.1 晶粒大小	60
§ 2.2 奥氏体化温度和时间	63
§ 2.3 奥氏体的化学成份	67
(一)碳	67
(二)合金元素和合金元素的交互作用	73
(三)硼和硼的控制	102
(四)铸钢中合金元素的不均匀性	116
§ 2.4 奥氏体的调整	119
(一)在熔化过程中调整	120
(二)快速加热	121
(三)形变奥氏体的转变	122
第三章 淬透性原理和资料的运用	126
§ 3.1 引言	126
§ 3.2 交流方法	128
§ 3.3 钢的生产	131

§ 3.4 热处理构件的冶金设计.....	133
(一)引言	133
(二)淬透性的原理	133
(三)工程要求	138
(四)碳含量的确定	140
(五)确定冷却速率	141
(六)碳梯度	144
(七)确定对淬透性的要求	145
§ 3.5 在冶金设计中运用淬透性原理的例子.....	147
(一)透硬方面的应用	147
(二)渗碳方面的应用	151
(三)感应淬火和火焰淬火时淬透性的作用	164
(四)使成本最优化的计算机辅助成份设计	167
(五)根据成本-效果设计一种满足工程要求的钢	176
(六)设计代用钢	177
§ 3.6 在选择大截面零件用钢及其热处理工艺时 CCT 图的应用	183
第四章 淬透性预测方面的最新贡献	189
第五章 总结与建议	192
参考文献	193

第一章 淬透性原理

§1.1 淬 火

钢经奥氏体化和急冷而硬化,涉及到钢中非稳态的热传导过程和借淬火介质使钢表面热量散失的过程。热传导过程还受到下列情况的影响,即钢中给定相的比热、热导率以及热扩散率在一个温度范围内是变化的,而且这些参数对于在淬火过程中钢中所出现的不同相来说也各不相同。因此,对于给定钢而言,在冷却过程中,随着淬火深度的增大,未转变的奥氏体量将随奥氏体分解产物的增加而越来越少。此外,在奥氏体转变为其分解产物时还要放出热量。钢中任一给定点的冷却曲线都必将反映出上述所有情况。在钢件表面,热量被传导到淬火介质,这种热传导取决于钢的表面与淬火介质之间的温差,以及界面处的热传导系数。

这个总体的散热问题曾由许多研究者研究过,他们都作了相同的假定,即:

1. 在所研究的温度范围内,金属的热导率“ K ”是一常数;
2. 在所研究的温度范围内,金属的热扩散率“ a ”是一常数,而且
3. 在金属的整个冷却期间,淬火液的冷却能力“ H ”保持恒定。

为了确定上述假定对淬透性问题的影响程度,应当检查这些假定的正确性。

图1^[1]示出了钢的热导率与温度的关系。显然,奥氏体与其转变产物的热导率差别相当大。表示奥氏体的那条曲线是由18%Cr-8%Ni钢测定的。合金化会影响 γ -铁的热导率,但是未经合金化的铁,其曲线的 γ 部分外推到低温时,却与合金奥氏体的曲

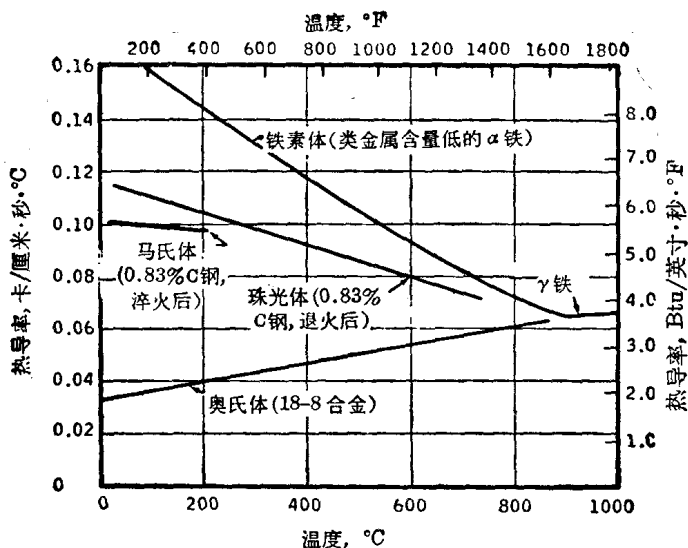


图 1* 铁素体、珠光体、马氏体和奥氏体的热导率 (Austin)

线相当吻合,这就表明,在较低的温度范围内,各种相之间的热导率差别很大。

图 2^[1] 示出了热扩散率与温度的关系,各曲线均与热导率曲线相类似。这是不足为奇的,因为热扩散率“ a ”的定义是: $a = K / S\rho$, 式中 K = 热导率, S = 物质的比热, ρ = 材料的密度。淬透性研究中的问题之一是选择某一恒定的“ a ”值,使其与测定淬火液的冷却能力“ H ”时所获得的实验数据最协调。

淬火液的冷却能力 H 被定义为: $H = C/2K$, 式中 C = 金属与淬火介质界面处的传热系数, K = 热导率。

弗兰奇 (French)^[2] 总结了钢的冷却方面的实际资料,包括测定冷却曲线的方法与设备,以及在不同介质中淬火时所得到的数据。庇林 (Pilling) 和林奇 (Lynch)^[3] 测定了含 5% Si 的镍合金制成的 $\phi \frac{1}{2}$ 英寸 (13 毫米) 圆柱体试样中心处水淬时的冷却曲线,如图 3 所示。该曲线可以分为以下三个阶段:

1. (b-c)——蒸汽膜包围金属的阶段;

* 译注: Btu (British thermal unit)——英国热量单位 (= 252 卡)。

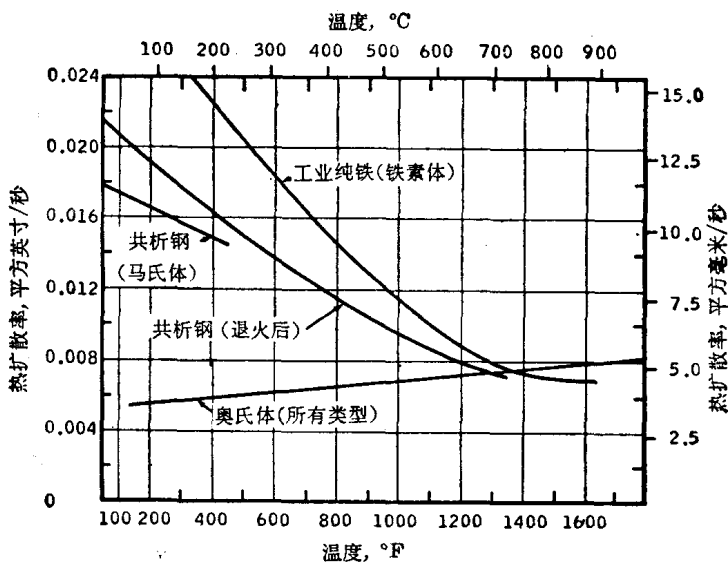


图2 不同组织的热扩散率(Austin)

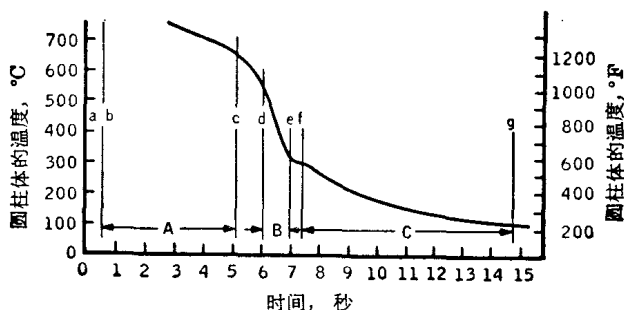


图3 淬火工件在水淬时,温度按接连的几个阶段降低的情况(Pilling and Lynch)

2. (d-e)——液体在一刹那间湿润了金属表面,而后汽化的阶段;

3. (f-g)——金属表面温度下降到液体的汽化点以下,同时液体膜受到控制的阶段。

应当记住,冷却曲线是在 1/2 英寸(13 毫米)圆柱体的中心测得的,并且只反映了表面上发生的情况。图 4 是根据图 3 中的数

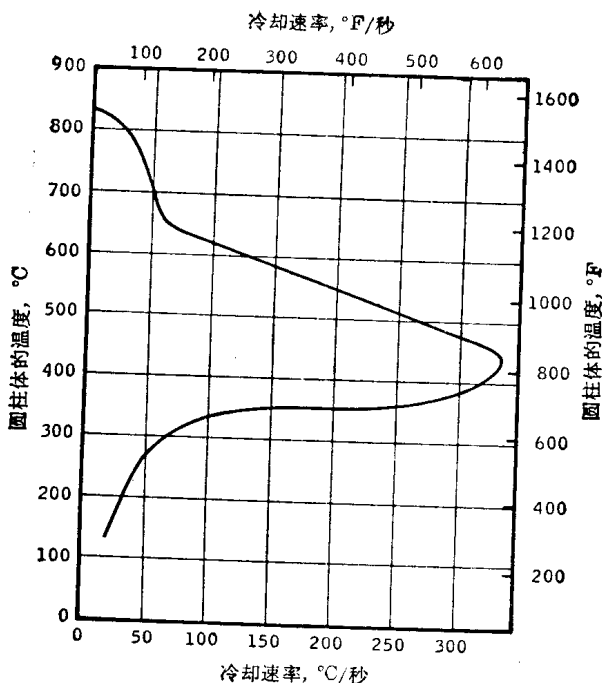


图4 根据图3数据重新作图,用冷却速率代替冷却时间

据重画的. 图中表明, 在大约 450°C (840°F), 也就是在“ $d-e$ ”冷却阶段, 冷却速率最大. 显然, 淬火工件在整个冷却过程中, H 不可能是恒定值. 同一金属由小直径圆柱体中心冷却曲线所计算的 H 值比由大直径圆柱体中心冷却曲线所计算的 H 值大, 这是因为小圆柱体在 $d-e$ 阶段的散热量所占比例较大. 罗斯(Rose)^[4] 测定了淬入不同介质时小球中心处的冷却速率, 指出, 最大的冷却速率发生在不同温度范围. 水淬时所能达到的最大冷却速率要比油淬时大, 但水淬时出现最大冷却速率的温度却要比油淬时低.

过去某些文章根据“ α ”和“ H ”恒定的假定, 研究了复杂的非稳态热传导问题的解, 并且以图或表格的形式给出了答案. 这些文章中包括格列贝尔(Gröber)列线图^[5] 和路赛耳(Russell)表^[6]. 参考文献[1]的附录中转载了路赛耳表.

1939年, 格罗斯曼、阿西莫(Asimow)和乌尔班(Urban)首先

发表了将所有的钢置于共同的基础上对淬透性进行的探讨^[7]。他们的贡献可以概括如下:

假定:

1. 热扩散率“ α ”为常数;
2. 淬火液的冷却能力“ H ”为常数;
3. 如果同一种钢的两根直径不同的圆棒料在不同位置处达到半温(淬火温度与淬火液温度之间的中间值)所需的时间相同,则其显微组织相同,因此硬度也相同。

不言而喻,有一个假定作者们并没有提及,这就是在这两个位置处,应力对奥氏体转变的影响应该一样。他们把显微组织中50%马氏体处的直径定义为没有淬硬的心部直径 D_u ,计算了在具有不同 H 值的淬火液中,不同尺寸的圆柱体在不同位置处达到半温的时间,并绘制了图5所示的列线图。将不同尺寸的同一种钢的圆棒进行淬火,求得每一圆棒的 D_u 值后,就可用这个列线图确定任一淬火液的 H 值。把一张透明纸放在图5上,标绘出不同的 D_u/D 值对 D 的关系点,连结各个点便可作出一条曲线。然后水平移动透明纸,直到画出的曲线与计算曲线之一相吻合,即可求出相应的 HD 值。用相应的试棒直径 D 除各个 HD 值,其结果便是 H 值。当圆棒直径与硬化深度差别很大时,虽然不可能使任一条曲线与不同尺寸的淬火圆柱体所测得的各个实验点相吻合,但是,这个列线图仍具有实用价值。这表明,有一个或几个假定是不正确的。

格罗斯曼等^[7]还把 D_0 定义为给定钢在已知 H 的淬火液中淬火后的临界直径,即心部能淬硬到50%马氏体的直径。他们还把 D_I 定义为给定钢的理想直径,这就是当把这种钢在 $H=\infty$ 的淬火液中淬火时,其心部能获得50%马氏体的直径。 $H=\infty$ 是假想淬火液的冷却能力,这种淬火液能在零时间内把钢件表面的温度降低到淬火液的温度。他们还绘制了如图6所示的列线图,利用该图就可把钢在任一给定 H 值时的 D_0 转换成 D_I 。 D_I 值在比较不同炉次的钢的淬透性时最有用,而且也是根据化学成分计算

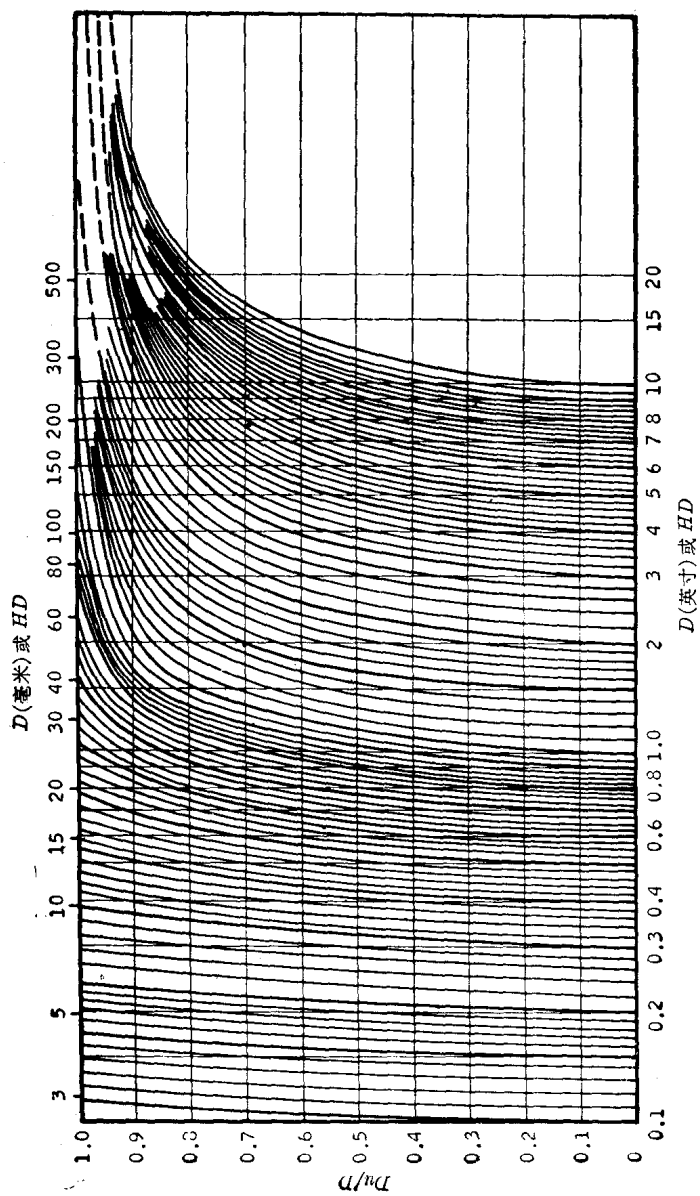


图5 估算淬火热冷却能力(淬火热烈度)的曲线(Asimow)

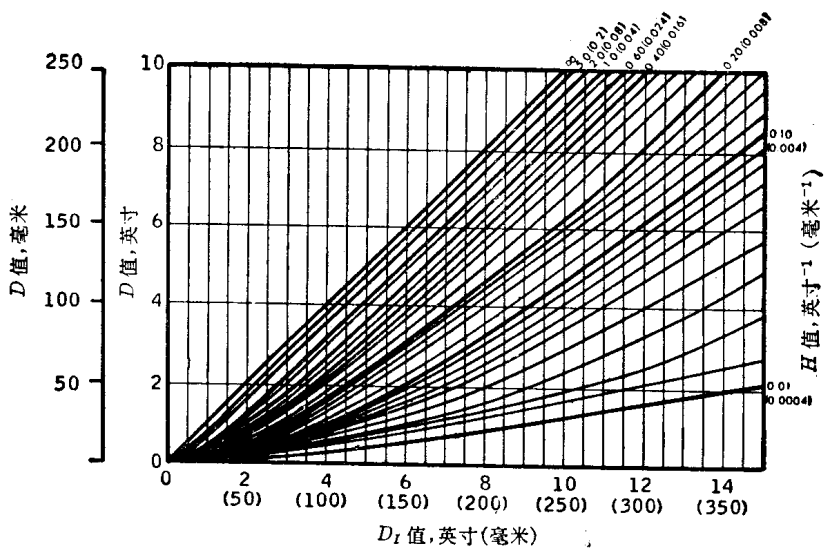


图6 理想临界直径 D_I 、实际直径 D 和淬火烈度 H 之间的关系 (Grossmann)

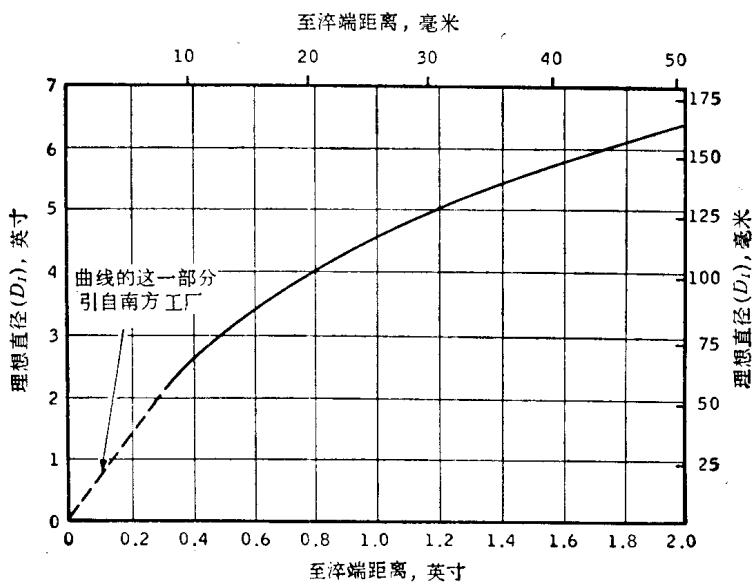


图7 端淬距离与淬透性 (D_I) 的关系 (Grossmann)

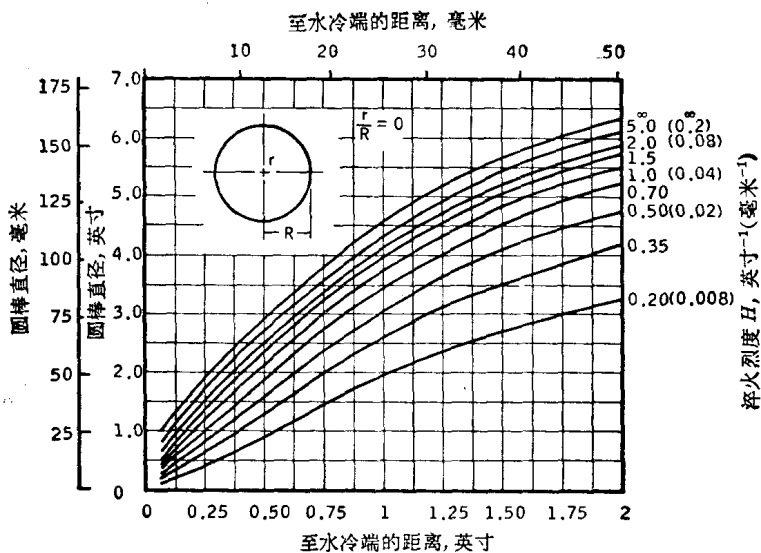


图8 端淬试样上的位置与圆棒中心的对应关系 (Lamont)

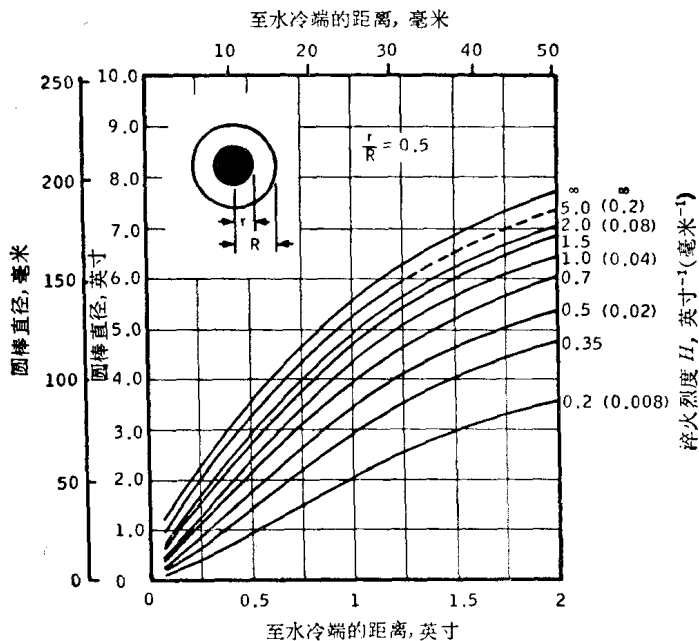


图9 端淬试样上的位置与圆棒 1/2 半径处的对应关系 (Lamont)