

高 頻 热 处 理

高 洛 文 查 美 特 宁 著

王 东 升 譯

本书敘述了机器制造业中零件高频热处理的金属学和工艺学問題。对高频快速加热时碳鋼和合金鋼中的相变、所得到的組織和性能也作了探討。并引用了关于鋼和鑄鉄零件(曲軸、冷軋輥、各种齒輪、汽缸套、铁路鋼軌等)高频热处理的工艺过程和特点方面的一些資料。

本书讀者对象为机器制造工厂、冶金工厂和科学研究机构从事高频热处理工作的工程技術人員，也可供高等学校有关专业的师生参考。

Г.Ф.Головин М.М.Замятин

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

МАШИЗ 1959

* * *

高频热处理

王东升譯

*

机械工业图书編輯部編輯(北京苏州胡同141号)

中国工业出版社出版(北京修羅閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ • 印張 $5 \frac{15}{16}$ • 字数151,000

1963年11月北京第一版 • 1963年11月北京第一次印刷

印数0001—3,765 • 定价(10-7)1.00元

*

統一书号: 15165 • 2466(一机-514)

前 言

在我們国家工业化的年代里，技术的发展，要求創造各种能保証劳动生产率不断增长的新工艺方法。金属热处理（首先是表面淬火）时的高頻加热就是其中之一。

沃洛格金 (В.П.Вологдин) 教授在1935年研究成功的高頻表面淬火[10]，很快就得到了普遍承认，并被广泛地运用在我国工业的各个部門。在汽車拖拉机工业中，这种淬火方法应用得特別广泛，单在这个部門，就使用着对曲軸、汽缸套、履带銷、凸輪軸、齿輪、鏈輪、活塞銷以及其他一些汽車拖拉机零件淬火用的150多种各种型式的專門淬火机床。

高頻电流工业应用的广泛发展，只有在高頻电工学方面，以及金属学方面科学知識发展的基础上才有可能。

許多电工学問題，在沃洛格金，洛津斯基 (М.Г.Лозинский)，斯路霍茨基 (А.Е.Слухоцкий) 等的一些主要著作中，都曾詳細地加以闡明。有关研究高頻加热相变的一些理論問題，在基金 (И.Н.Кидин) 的著作中已有叙述。而金属学方面的一些其他問題，尤其高頻热处理工艺的一些問題則很少有人闡述。

本书就企图填补这个空白点。书中将在研究和分析快速电加热时金属組織变化特点的基础上，来确定淬火工件得到优良性能的一些条件，并且弄清高頻热处理工艺过程作为根据的一些基本原理。

在資料的叙述上，作者力图作出可能有助于解决高頻热处理运用方面，和繼續扩大其应用范围的主要問題的結論。为了这些目的，本书的取材作了这样的安排：使用有限的例子，尽可能包括各方面的特点，并指出在掌握机器零件高頻热处理的各种过程时所可能遇到的一些困难。

本书是根据大量科学研究工作的成果(主要是苏联的)，特别是沃洛格金高頻电流科学研究院以及苏联某些工业企业全体人員在研究高頻热处理工艺过程方面的大量成果而編写的。

作 者

目 录

前言

第一章 高频热处理的应用范围和特点	1
第一节 热处理的类型及其应用的条件.....	1
第二节 高频热处理用的钢种.....	6
第三节 表面淬火时淬火层深度的选择.....	10
第四节 表面感应加热的特点.....	12
第二章 钢的表面淬火	20
第五节 快速加热时碳钢中的相变.....	20
第六节 由合金元素所引起的特点.....	26
第七节 淬火层的组织.....	32
第八节 淬火工件的硬度.....	39
第九节 淬火层深度的确定.....	41
第十节 加热温度的选择.....	42
第三章 表面淬火时的应力和变形	48
第十一节 内应力产生及存在的条件.....	48
第十二节 决定残余应力大小和特性的一些因素.....	54
第十三节 在两个淬火层衔接处的残余应力.....	58
第十四节 表面淬火时的变形.....	61
第四章 表面淬火工件的回火	65
第十五节 在炉中加热的回火.....	65
第十六节 自行回火.....	70
第十七节 电回火.....	73
第五章 高频表面淬火对机械性能的影响	75
第十八节 表面淬火层的机械性能.....	75
第十九节 表面淬火层的耐磨性.....	78
第二十节 表面淬火工件和试样的机械性能.....	83

第六章 灰鑄鐵和可鍛鑄鐵的淬火	92
第二十一節 珠光體鑄鐵和珠光體-鐵素體鑄鐵的淬火	92
第二十二節 鐵素體鑄鐵和鐵素體-珠光體鑄鐵的淬火	97
第七章 鋼的穿透加熱熱處理	99
第二十三節 正火、調質	99
第二十四節 再結晶退火	102
第二十五節 滾珠軸承鋼的淬火	109
第二十六節 高速鋼的淬火和回火	112
第八章 鋼的化學熱處理	118
第二十七節 應用的條件	118
第二十八節 高頻滲碳	121
第二十九節 滲碳時高溫加熱對鋼的機械性能 和組織的影響	124
第九章 高頻熱處理工藝過程的要素	127
第三十節 加熱方法及其規範的選擇	127
第三十一節 加熱溫度和加熱速度的控制	136
第三十二節 冷卻介質及其供給的方法	142
第三十三節 淬火工件質量的檢查方法	146
第十章 機器製造零件的熱處理	152
第三十四節 軋輥的淬火	152
第三十五節 曲軸的淬火	156
第三十六節 齒輪的淬火	163
第三十七節 鑄鐵工件的淬火	170
第三十八節 滾動軸承零件的淬火	174
第三十九節 鋼軌銜接端的淬火	178
參考文獻	181

第 一 章

高頻热处理的应用范围和特点

第一节 热处理的类型及其应用的条件

表面淬火是鋼制工件高頻热处理的主要类型。表面淬火是高頻热处理方法中最早的一种，并且到目前为止，仍然完全是主要方法。

高頻表面淬火在工业中，是用来得到具有硬而耐磨的表面层和比較軟韌心部的工件的。在应用的初期，它用来代替某些工件原先所采用的炉中加热的整体穿透淬火或者表面化学热处理——渗碳，氰化和氮化。后来在設計机器或机构零件时，就專門規定要作高頻表面淬火了。

与其他一些处理方法相比較，我們来討論一下高頻表面淬火的主要优缺点。

和炉中加热的穿透淬火比較，任何表面加热淬火（也包括高頻表面淬火在內）的主要优点是：零件或工件的脆性減低。脆性的減低是由于有塑韌的心部，同时淬火层只分布在需要高硬度的部分所致。

尽管曾經有人对心部韌性的作用表示怀疑[56]，可是表面淬火零件，以及渗碳和氮化零件的实际应用，却不容置疑地表明，它們对脆性破坏的傾向較少。在过载和冲击的情况下，以及在有車出的沟槽、孔、截面改变和金属缺陷情况下，穿透淬火的零件就比表面硬化层的零件容易发生裂紋和破坏。穿透淬火零件在制造或使用过程中发生裂紋，会引起立即或很快破坏。而在硬化层中发生裂紋，大半不会扩大到軟韌的心部，在許多情况下，具有表面裂紋的零件还可以长期良好地工作。

穿透淬火代以表面淬火，显著地降低了脆性破坏傾向，这就

可以提高允許硬度，因而，表面淬火零件的耐磨性，比之穿透淬火零件也就有所提高，而穿透火火的零件，必須用大大降低硬度的回火方法来防止脆性。必須指出的是，在穿透加热情况下，依靠应用淬透性小的鋼来获得硬的表面层的方法，和表面淬火比較起来，对降低脆性所起的作用还是較小，这是由于在穿透加热和非穿透淬火时，所得到的心部塑性和韌性都不够的緣故。

表面加热淬火的第二个优点是，依靠冷的心部剛性，大大减少了变形。

第三个优点是实际上完全消除了氧化和脫碳，同时这和变形减小結合起来，就使得在某些情况下，可以进行最后成品零件的淬火，而省去磨削工序。

第四个优点是加热用的能量消耗减少，因为在許多情况下，被加热层只是整个零件体积的一小部分。

表面淬火的缺点是：在淬火层厚度不够和工作条件繁重的情況下，淬火层有压碎的可能性；必須設置較复杂和貴重的設備；和依靠炉中加热实行的穿透淬火相比时，零件的組織和性能的波动都要大一些。

在炉中加热的情况下，也可以得到表面淬火层。但是这只有在厚度或直徑为几百毫米的巨大工件上才能实现。对于較薄的零件來說，向工件表面导热速度很低（ $2 \sim 3$ 卡/厘米²·秒），不可能在工件中造成表面和心部有显著的温度差。在导热速度为 $10 \sim 20$ 卡/厘米²·秒的盐液槽中加热时，能够在厚度或直徑大于 50 毫米的工件中得到表面淬火，然而需要极其精确地遵守保温時間，并且还有許多其他缺点。

为了保証表面层和心部温度有显著不同，就需要采用特殊的加热方法，在每秒钟內对每平方厘米能給予几百、几千卡热流，或用电学单位來說，就是对每平方厘米要供給几个千瓦。

在运用表面淬火的初期，在选择表面加热方法上，曾有过不少困难。高频表面淬火的提出和試驗，是与用氧-乙炔；或总称氧-瓦斯火焰加热表面淬火（火焰淬火）的研究和开始运用，以及

对接触表面淬火法与电解液表面淬火法的探討，差不多是同一时期。

現在高频表面淬火在成批和大量生产中，已表现出是表面加热淬火中的最好方法。高频淬火和其他表面淬火法比较起来，能够保证最高的产品质量和最标准的结果；它为淬火过程部分或完全机械化和自动化，以及把淬火工序安插在机械加工流水作业线上，创造了一切条件。用氧-瓦斯火焰加热的表面淬火，在单件或小批生产中，比高频表面淬火有其优点，因为这种淬火方法需要的设备简单，并无需分别掌握每个零件的淬火过程。但是这种淬火方法很难机械化，淬火结果也不稳定，并需要有极为熟练的操作人员。

在把高频表面淬火和普通化学热处理方法比较时，首先注意到的是，处理过程所花的时间和成本上有很大便宜。在渗碳时，为了使工件得到深1~2毫米的硬化层，就须花费4到24小时，在表面淬火时，同样深度的硬化层，在几秒钟内就可以得到。高频电流表面淬火过程的时间，和氮化的时间相差就更大了，在氮化层深0.5毫米时，要30~50小时才能得到。

和化学热处理比较起来，高频表面淬火在经济方面的优点也不小。根据某一个工厂的资料，每吨机器零件的渗碳成本，平均是1500卢布，而高频表面淬火只需要300卢布。

高频表面淬火完成的迅速，和设备的特点，使有可能把它安插在机械加工流水作业线上，而这对化学热处理说来是复杂的，有时甚至是完全不可能的。

在使用高频表面淬火的情况下，能够使零件的变形最小，而渗碳和随后淬火所得的变形，是不能与之相比的。

最后，表面淬火零件还有一个极大的优点，即在大多数情况下，可用价廉的碳钢制造零件，可是对于渗碳零件，为了保证足够强度和心部韧性的综合性能，通常须用合金钢来制造，如15X，20X，12XH3A，12X2H4A，18XHBA等。渗碳零件应用合金钢，还和利用在油中淬火以减少变形有关。

4
高频表面淬火能保证心部性能与硬化层性能无关。高频电流淬火工件的心部，可以具有用退火、正火或淬火并高温回火方法所得到的組織。这就使在某些渗碳的情况下，必须采用铬鋼或铬镍鋼的地方，有可能采用普通牌号的40和45号碳鋼。

表面淬火比之渗碳的缺点，首先表现在渗碳层和高频电流淬火层性能的差异上。

在零件渗碳的实践中，最低的硬度一般规定为56、58和60 H_{RC} 。渗碳层的硬度多半处于58~62 H_{RC} 范围内。在最常采用的碳鋼(40和45号鋼)表面淬火时，也可能得到硬度58~62 H_{RC} 。但是由于鋼的成分，淬火规范的波动，以及为了防止裂纹的自行回火或回火的必须性，就迫使降低硬度极限。在表面淬火实践中允许的硬度下限，对于40牌号的鋼，降低到52 H_{RC} ，对于45牌号的鋼，则降低到54 H_{RC} 。

因此，在中碳鋼表面淬火时，得到的表面层硬度，要比渗碳时低些，在渗碳过程中，可使原低碳鋼的表面层，被碳饱和到硬质工具鋼所具有的含碳量。

这种情况和高频电流表面淬火层内含碳量较低结合起来，就使表面淬火零件或試样的耐磨性，比渗碳零件有某些降低。中碳鋼表面淬火层的接触强度，也稍低于渗碳层的接触强度。因此当零件在接触負載繁重的条件下工作时，就必须采用高含碳量的一些鋼号(Y7, 65Γ等)，这就造成了对复杂形状工件淬火时的某些困难，和不可避免地降低非淬火心部的韌性。氮化层的硬度，耐磨性和接触强度超过渗碳层的性能，因此和表面淬火层的性能相差就更大了。但是，用高频淬火法所得到的淬火层，比之渗碳层或氮化层，其脆性较小。

和渗碳比较起来，高频表面淬火的第二个缺点是：很难得到复杂零件輪廓均匀的淬火层，个别情况下甚至是根本不可能的。

衡量高频表面淬火方法与渗碳相比的优、缺点，就会有两种方法必须同时并用的結論。对得到較便宜的大量生产的零件說来，表面淬火具有优越性，而对一些高耐磨性的最重要零件說

来，渗碳和其他的化学热处理方法就具有优越性，因为对于这些零件，是容許相应地提高其成本的。正确解决采用何种方法的問題需要有經濟上的根据。

从經濟观点看来，当采用炉子加热穿透淬火，或渗碳很不合理时，也可采用高频表面淬火。鋼軌銜接端头的淬火，可作为这种用法最有代表性的例子。当鋼軌高频表面淬火时，仅仅鋼軌銜接端头承受加热，在鋼軌总重量为500~600公斤的情况下，被加热的金属重量仅2~3公斤。

和表面淬火比較起来，所有其他的高频热处理类型，現時还采用得比較少。

对穿透淬火、調质、正火和再結晶退火，当工件在炉中处理发生困难时，也可采用高频加热。用这种方法处理长的棒料、管子、板料、金属綫材特別有利。这些工件用高频加热，可大大减少氧化和脫碳，而且也較容易安插在流水作业綫上。

渗碳零件淬火和回火用的表面加热或局部加热，是高频热处理应用的一个特殊領域。現在許多汽車和拖拉机工厂，已經利用这种方法来处理碳素渗碳鋼和合金渗碳鋼制造的，并在气体或固体渗碳剂中进行过普通渗碳的一些零件。

在渗碳零件高频淬火时，可完全避免零件須机械加工的区域（例如齿輪的內孔部分）也淬上火，而且在許多情况下变形也可大大减小。由于表面含碳量高，这些零件在硬度和耐磨性上，并不低于渗碳和普通淬火后的零件。

与表面淬火比較起来，在这种情况下，高频表面加热的操作要容易得多，因为可以采用加热层較渗碳层为深的加热规范，而工件并无脆化的危險性。在淬火后，仅仅渗碳层得到高的硬度。把心部加热到淬火温度而随后淬火时，在有限範圍內提高硬度和强度，而仍然保持着这个区域足够的塑性和韌性。所以對於渗碳工件的高频表面淬火來說，就不要求与硬化层輪廓相一致的加热层。相反地，在加热深度稍大时，可能得到最好的結果，这个深度不仅保証全部渗碳层淬火，而且一部分心部也补充淬火。例如

在齒輪中，可以把所有牙齒以及與牙齒相毗連的輪輞部分整個地加熱，而無須考慮沿深度方向加熱的不均勻性。

在這種情況中，零件的冷卻，可以在油槽中或用噴水的方法進行。在加熱比較淺的情況下，冷卻速度幾乎不影響變形和形成裂紋。

當滲碳和淬火零件的大部分應該淬火，而其局部體積或表面需要降低硬度時，應用高頻局部回火是合理的。

汽車滲碳零件中的二、三擋和倒擋齒輪(12XH4A 鋼)、球頭銷(12XH3A 鋼)、齒輪組合軸和倒擋齒輪軸(15X 鋼)、踏板軸、調速器曲柄、小軸、隔套(15和20鋼)等零件都要經過高頻淬火。錐形齒輪(18XIT 鋼)、後橋齒輪(12X2H4A 鋼)、齒輪組合軸(20X 鋼)和其他一些滲碳零件，都要經過高頻局部或表面回火。

滲碳和隨後的高頻表面淬火，能保證得到高的硬度，在許多情況下，可達 $58 \sim 62 H_{RC}$ 範圍，並能得到足以令人滿意的滲碳層組織和性能。由於加熱局部性的特點，在必須消除網狀滲碳體的情況下，高頻淬火可允許稍許提高加熱溫度。

第二節 高頻熱處理用的鋼種

高頻表面淬火所採用的鋼種其化學成分、晶粒長大傾向和淬透性，應保證表面淬火層和心部得到所要求的性能。

在選擇每一種具體用途的鋼種時，在淬火層深度、硬度、耐磨性和脆性方面，以及在心部強度、塑性和韌性方面的要求，可能有很大不同。

鋼中含碳量的提高，會引起淬火層硬度和耐磨性的增加，同時也使心部硬度和強度增加。但是在提高含碳量時，淬火層的脆性增加，容易形成淬火裂紋，同時心部的塑性減低。因此所有這些，就使高含碳量的工件表面淬火後，總脆性提高。

在高頻表面淬火的實踐中，應用最廣的是中碳(0.40~0.50%)鋼，它在淬火後能保證有足夠高的硬度和耐磨性，而無顯著的脆性。含碳量較高的鋼，能提高淬火層的硬度和耐磨性，但

是它們多半用于应力小和不重要的工件。含碳量(0.30~0.40%)較低的一些鋼，只是应用在必須有意降低硬度和耐磨性，来减少淬火层脆性和提高整个工件的韌性，以及减少形成淬火裂紋傾向的場合。

在選擇鋼的牌号时，應該考虑到：心部性能取决于預先热处理的規範，淬火层的性能也与預先热处理的規範有一点关系。

心部和淬火层的最佳性能，是在工件經過保証馬氏体穿透淬火，和沿整个截面得到回火索氏体組織的預先調质 情况下得到的。但是这种昂貴的处理方法，只有对那些重要工件，才加以使用。預先正火得到的机械性能稍微要差一些。退火、鑄造或鍛造后所得到的原始組織，心部和淬火层的机械性能就更低。

对于承受高頻表面淬火的工件說来，合金鋼的应用應該有所限制，而且只有在大尺寸工件和对心部或整个工件的机械性能要求特別高的情况下应用，才能认为是正确的。应用合金鋼可以稍許降低含碳量，也能保証得到相同的硬度，因而也就可稍許减低淬火层和整个工件的脆性。在必須得到很深的淬火层深度时，也可以采用合金鋼。

对于表面淬火說来，最好应用那些对淬火加热温度波动敏感性較小的鋼号。但是鋼內許多限制奧氏体晶粒长大的合金元素，会提高表面淬火所必需的加热最低温度，而不能得到所希望的结果。表1中列出了苏联高頻表面淬火工件所采用的一些碳鋼牌号目录。表2中則列出了为相同目的所采用的合金鋼的一些主要牌号目录。

极大多数承受高頻淬火的零件，是用45和40号碳鋼制造的，而且在許多情况下，还应用了稍許縮小含碳量范围的鋼(45C, 40C, 45A)。

特別是在汽車工业中，曲軸、凸輪軸、心軸、銷子、心棒、撥叉、杆子和許多其他零件，都是用45牌号鋼制造的。少数零件，如傳动軸、联軸器、垫圈和飞輪齿环用40号鋼制造。需要提高韌性的零件，如汽門推杆、离合器撥叉等，用35号鋼制造。

表 1 苏联高频表面淬火所采用的一些碳钢牌号

钢的牌号	化 学 成 分 (%)			淬火层在回火后的一般硬度 (H_{RC})	淬火层达到的深度 (毫米)
	碳	硅	锰		
35	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	50~55	3
40	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	53~58	4
45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	55~60	4
50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	57~62	4
60	0.55~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80	59~63	4
70	0.65~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80	60~64	4
35T2	0.30~0.40	0.17~0.37	1.40~1.80	53~58	5
40T2①	0.35~0.45	0.17~0.37	1.40~1.80	54~59	5
45T2	0.40~0.50	0.17~0.37	1.40~1.80	56~61	5
50T	0.45~0.55	0.17~0.37	0.70~1.00	57~62	5
65T	0.60~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	59~63	5
Y7	0.65~0.74	0.15~0.35	0.20~0.40	60~64	2
Y8	0.75~0.84	0.15~0.35	0.20~0.40	60~64	2
Y10	0.95~1.04	0.15~0.35	0.15~0.35	60~64	2
Y12	1.15~1.24	0.15~0.35	0.15~0.35	60~64	2

① 40T2原书误印为45T2。——译者

表 2 苏联高频淬火所采用的合金钢主要牌号

钢的牌号	化 学 成 分 (%)				淬火和回火后的一般硬度 (H_{RC})	淬火层达到的深度 (毫米)
	碳	锰	铬	其他元素		
35X	0.30~0.40	0.50~0.80	0.80~1.10	—	52~57	6
40X	0.35~0.45	0.50~0.80	0.80~1.10	—	54~59	6
45X	0.40~0.50	0.50~0.80	0.80~1.10	—	56~61	6
35XC	0.30~0.40	0.30~0.60	1.30~1.60	1.0~1.3Si	52~57	6
40XC	0.37~0.45	0.30~0.60	1.30~1.60	1.2~1.6Si	54~59	6
40XH	0.35~0.45	0.50~0.80	0.45~0.75	1.0~1.5Ni	55~60	8
40XHM	0.36~0.44	0.50~0.80	0.6~0.9	1.5Ni; 0.2Mo	55~60	8
9X	0.80~0.95	0.25~0.35	1.40~1.70	—	63~67	8
HX15	0.95~1.10	0.20~0.40	1.30~1.65	—	62~64	8

在汽車制造中用于高频表面淬火的合金鋼，有40X(中間軸、花鍵軸、半軸套管、銷子、推杆螺釘、杆子和其他零件)，30X(轉向軸、滑动叉)，40XHMA(万向节凸緣、进气閥)。在拖拉机制造和农业机器制造中，采用35Г20、40Г2、45Г2、50Г等一些提高含錳量的鋼种。

牌号为Y7、Y8、Y10、Y12的硬质碳素鋼，用于必須进行高频表面淬火或高频穿透淬火的刀具和量具。9X号合金工具鋼，用于必須进行高频表面淬火的冷軋輥。

国外高频表面淬火所采用的一些鋼，在成分和性能上都与在苏联所采用的鋼相近似(表3和表4)。

表3 美国高频表面淬火所采用的鋼种[71]

鋼的牌号	化 学 成 分 (%)			
	碳	錳	鉻	其 他 元 素
1035	0.32~0.38	0.60~0.90	—	—
1040	0.37~0.44	0.60~0.90	—	—
1045	0.43~0.50	0.60~0.90	—	—
1330	0.28~0.33	1.60~1.90	—	—
1335	0.33~0.38	1.60~1.90	—	—
1340	0.38~0.43	1.60~1.90	—	—
2335	0.33~0.38	0.60~0.80	—	3.25~3.75Ni
2345	0.43~0.48	0.70~0.90	—	3.25~3.75Ni
3130	0.28~0.33	0.60~0.80	0.55~0.75	1.10~1.40Ni
3140	0.38~0.43	0.70~0.90	0.55~0.75	1.10~1.40Ni
4140	0.38~0.43	0.75~1.10	0.80~1.10	0.15~0.25Mo
5140	0.38~0.43	0.70~0.90	0.70~0.90	—
6140	0.38~0.43	0.60~0.90	0.80~1.10	0.15V
8640	0.38~0.43	0.75~1.10	0.40~0.60	0.15~0.25Mo 0.4~0.7Ni

对于各种形式的穿透加热高频热处理所采用的鋼，可能具有迥然不同的成分和性能。其中包括低碳鋼(而在再結晶退火的情况下甚至还有工业純鉄)，也有中碳鋼和高碳鋼，以及各种合金鋼和高合金鋼，例如，奥氏体不銹鋼和高速鋼。为了使这些鋼适应穿透加热高频热处理的条件，研究扩大淬火温度范围可能性，是今后的一个方向。

高频(高温)渗碳所用的鋼，应该在1000~1100°C温度下晶粒

表 4 英国和德意志联邦共和国高频表面淬火所采用的鋼种[71]

国 名	鋼的牌号 或 标 記	化 学 成 分 (%)			
		碳	锰	铬	其他元素
英 国	En 8	0.35~0.45	0.60~1.00	—	—
英 国	En 9	0.50~0.60	0.50~0.80	—	—
英 国	En10	0.50~0.60	0.50~0.80	—	0.5~0.8Ni
英 国	En11	0.50~0.70	0.50~0.80	0.50~0.80	—
英 国	En12	0.30~0.45	<1.5	—	0.60~1.00Ni 0.15~0.35Mo
英 国	En15	0.30~0.40	1.30~1.70	—	—
英 国	En16	0.25~0.40	1.30~1.80	—	0.20~0.35Mo
德意志联邦共和国	C35, Cr35	0.35	0.55	—	—
德意志联邦共和国	C45, Cr45	0.45	0.65	—	—
德意志联邦共和国	Cf56	0.56	0.55	—	—
德意志联邦共和国	Cf70	0.70	0.30	—	—
德意志联邦共和国	40Mn 4	0.40	0.95	—	—
德意志联邦共和国	42MnV 7	0.42	1.80	—	0.1V
德意志联邦共和国	37MnSi 5	0.37	1.25	—	125Si
德意志联邦共和国	36Cr 6	0.36	0.40	1.50	—
德意志联邦共和国	41Cr 4	0.41	0.65	1.00	—
德意志联邦共和国	42CrMo 4	0.42	0.65	1.00	0.2Mo
德意志联邦共和国	36CrNiMo 4	0.36	0.60	1.00	1.0Ni, 0.2Mo
德意志联邦共和国	30CrNiMo 8	0.30	0.40	2.00	2.0Ni, 0.3Mo
德意志联邦共和国	55NiCrMoV 6	0.55	0.60	0.70	1.7Ni, 0.2Mo, 0.1V

长大最小。在現行的鋼号中，具有鈦的一些鋼（如18XIT和30XIT鋼）最适合于高频渗碳。現在还在研究晶粒长大傾向更小的含鋁鋼。

第三节 表面淬火时淬火层深度的选择

高频表面淬火法，在很短的时间內，就能得到足够寬的深度范围的表面淬火层。因此，就产生了对每一种零件淬火层最佳深度的問題。

从耐磨性的观点出发，层的深度应该保证零件在允许磨损的深度内，具有足够高的硬度和耐磨性，并要估计到其重行磨削的可能性。在个别场合下，例如拖拉机曲轴，这个深度可以达到1~2毫米，但是在大多数的情况下，在磨损方面能保证满意工作的淬火层深度，可以小一些。

在选择淬火层的必须深度时，除了磨损外，还必须考虑工件的总机械强度。增大层的深度可以使拉伸、弯曲、扭转和耐疲劳试验时的强度极限提高。在某些情况下，强度极限会不断地提高上去，直到穿透淬火为止，而在另一些情况下，相应于淬火层面积与截面面积之间某个一定的比例，出现最大值。另一方面，当形成和增大淬火层深度时，就会增加工件脆性破坏的倾向。因此，层的深度就应该这样选择：即不论在正常条件下长期工作；或偶而在过载和冲击的条件下工作，都应保证兼有足够的强度、耐疲劳性和韧性。

在淬火面积约占零件横截面整个面积20%时；即相当于层深度约为半径10%左右，可以得到在强度、耐疲劳性和可塑性方面的最佳结果。同时，对于小直径(10~20毫米)的零件，建议用较大的淬火层深度(达半径的20%)，对于较厚的零件，以用较小的淬火层深度(半径的10%及以下)为宜。所以这样建议，是因为在截面绝对尺寸改变时，与脆性破坏倾向改变有关，同时也与由于淬火层的绝对深度受淬透性的限制有关。

还必须指出的是，为了减少比较昂贵的高频能量消耗，和得到最小的变形，最好以能保证在整个使用期间所必需的耐疲劳强度和耐磨性的最小的深度，进行高频表面淬火。

在实际情况中，除了上述理由外，在选择淬火层深度时，还必须考虑现有的设备和夹具。

在频率较高和电流透入深度较浅的电子管式振荡器上，最便于得到深1~2毫米的淬火层，而在机械式发电机上，则易得到深3~10毫米的淬火层。

在要用高频表面淬火法获得0.5~1毫米的薄层情况下，必须

考虑到在超快速加热时，保证完全转变的困难性。在这种情况下，只有在预先调质组织的条件下，才可能得到满意的结果。

要得到厚度在0.5毫米以下的淬火层，会引起很大的困难，因此对这样的深度，不适于应用高频表面淬火。

图1是根据上述理由作出的表面淬火层推荐的深度(x_k)与圆柱工件直径(d)的关系。

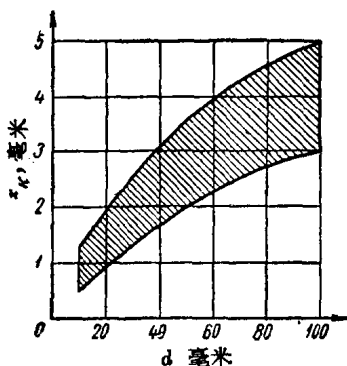


图1 表面淬火层推荐的深度与工件直径的关系。

淬火层深度的选择，除了上述一些因素外，与钢的牌号及预先热处理规范有关。在淬火深度不大时，具有柔软心层的工件，可能发生硬化层压碎，以及与心层塑性变形有关而产生裂纹的现象。心层较硬时，在许多场合下，淬火层的深度可以降低，而无损于工件质量。

在表面淬火发展的初期，曾对得到均匀的过渡层给予很大的注意。而现在则证明，过渡层并不对表面淬火工件性能有决定性影响，而且在许多情况中，从残余应力最好的分布来看，是希望有过渡层的。因此最好这样来选择钢的牌号、淬火规范、以及淬火层深度，即使得过渡层不超过淬火层深度的25~30%，最多不超过50%。为了减少能量消耗和减少工件变形，则希望限制过渡层的深度。

第四节 表面感应加热的特点

金属高频感应加热不同于其他表面加热方法的特点是：直接在被加热物体内部产生热能。这种加热特点决定了表面温度的变化特征，和沿被加热物体截面的温度分布。除此以外，温度的分布还和传递给金属单位体积的功率、电流透入深度及其他一些因素有关。