

高频加热单齿淬火法

唐宗杰 編著



机械工业出版社

內容提要 这本小册子专门介绍用高频电流加热逐齿淬火大模数齿轮的方法。

内容包括高频感应加热的基本原理、单齿淬火法、单齿淬火淬硬层的特性、淬火工艺对淬火质量的影响、单齿淬火用感应器、导磁体的材料及其制造以及齿轮单齿淬火的实例等，可供四级以上热处理工学习。

編著者：唐宗杰

NO. 3294

1960年5月第一版 1960年5月第一版第一次印刷
787×1092¹/₃₂ 字数 23千字 印张 1 0,001—7,300册
机械工业出版社(北京阜成门外百万庄)出版
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业
許可証出字第 008 号

統一書号 T15033·2146
定 价 (9-3) 0.12 元

一 高频感应加热的基本原理

〔高频加热〕〔高周波加热〕〔高频感应加热〕等这些技术名词，都是代表着相同的意义；就是把工件放在高频率电流的交变磁场中，依靠工件中由于感应所产生的电流，来使工件本身得到加热的方法。

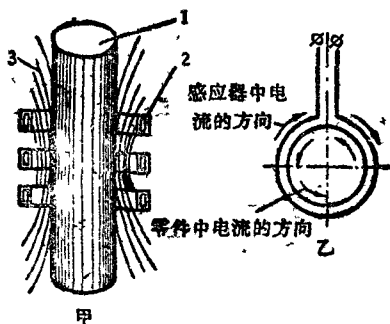
普通日常用的交流电是每秒50周。也就是说电流的正负极在一秒钟内变换50次，每秒钟变换的次数称为〔频率〕，用〔赫芝〕来表示。例如日常用的交流电每秒50周，就是说频率是50赫芝。

高频加热用的电流，就是频率还要高，通常有二个范围。频率为1000~10000 赫芝的电流，称为音频电流，是由机械式的高频发电机所发生的；频率为100000~1000000赫芝的电流，称为射频电流（又称无线电频率），是由真空管式（又称灯式）高频发电机所发生。

在导线中通入交流电后，则在导线的周围产生了交变磁场。如果在交变磁场中放入导体，由于磁力线切割导体，因而在该导体中产生了电流，这种电流称为〔感应电流〕，这种现象称为〔电磁感应〕。感应电流的流动方向和原来的电流方向相反。

图一甲是感应加热时工件的位置。加热的零件1放在螺旋管状的线圈2（称为感应器）中。此线圈通常由紫铜管制成。在感应器中通入交流电后，即产生了交变磁场，磁场的磁力线3变化时，就通过了线圈中的零件1，因而在零件1中形成感应电流。

我们知道任何电流通过导体时都会使导体发热。因此零件中的感应电流就把零件在电磁场作用范围内这部分加热了。所以



图一 感应加热简图。

感应加热时，热量是直接从事件感应部分发出来的。这是和普通加热炉中加热时的主要不同点。

在高频加热金属时，需要注意到一个所谓「表面效应」的现象。当直流电通过导体时，电流是均匀地分布在导体的整个横截面上，也

就是说电流密度在导体的横截面上每点是相同的。但是当导体中通过交流电时，横截面上电流的分布就不相同了。电流主要是沿着导体的表面流过，当电流的频率相当高时，导体的心部实际上是没有电流通过。这种现象我们称为「表面效应」。

交流电既然被认为是沿着导体的表面层流过，那末它所流过的厚度就是导体中电流的渗透深度。在这个深度里电流密度基本上是均匀的。在此渗透深度的内层就没有电流通过。电流渗透深度的大小是和电流的频率成反比。频率愈高，深度愈浅。具体的关系可按下列公式计算：

$$\delta = 5000 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}},$$

式中 δ ——导体中电流的渗透深度 (厘米)

ρ ——导体材料的比电阻 (欧姆·厘米)

μ ——导体材料的磁导率 (高斯/麦克斯韦)

f ——电流频率 (赫兹)

在表 1 中列出了在 15°C 时电流在钢中的渗透深度值，和在 15°C 时

表1 在不同的頻率下，电流在金屬中的渗透深度

电 流 頻 率 周/秒	渗 透 深 度 (毫米)		
	在15°C时的紫銅中	15°C时的鋼 $\mu=10\sim40$	800°C时的鋼 $\mu=1$
50	10.0	10.0~5.0	70.8
500	3.0	3.0~1.5	22.0
2500	1.3	1.5~0.7	10.0
10000	0.7	0.7~0.35	5.0
50000	0.3	0.3~0.15	2.2
250000	0.13	0.15~0.07	1.0
1000000	0.07	0.032	0.55

从表1中可知，当用不同頻率的电流对不同的金屬进行感应加热时，电流的渗透深度是不同的。这就明显地说明了电流的[表面效应]的程度。同时在15°C时和在800°C时鋼中电流渗透深度有显著的差别。在前面公式中说明当鋼的比电阻(ρ)和磁导率(μ)变化时，电流渗透深度也随着变化。因为鋼加热时由于比电阻随着温度升高而增加，而磁导率反而降低，当温度达760~780°C时鋼的磁性消失，所以电流渗透深度就显著地增加了。

在15~20°C开始加热时，电流只集中在表面薄层中，迅速使薄层温度升高。由于加热迅速，所以热量传到内层是很少的。当表面薄层的温度升到760~780°C失去磁性时，电流渗透深度就较深，为原来的2~2.5倍。但是由于电流密度的减小，所以表层的加热就缓慢下来，而电流迅速将里层加热，直到使整个渗透深度内加热到失磁点(居里点)为止。这样就结束了电流直接加热的过程。而深于渗透深度的内层，要靠热的传导作用来间接加热。所以在电流渗透深度范围内的加热进行得很快，而较深的内层的加热就需要较长的时间。

为了保证零件能达到足够的淬硬深度和迅速加热。根据淬硬层不同的深度要求，可以采用不同頻率的高频电流来加热。在表

2 中介绍了合理的高频电流的频率和淬硬层的深度的关系。

表2 各种淬硬深度时感应加热用的频率

淬硬层深度 (毫米)	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	10.0
最高频率 (赫芝)	250000	100000	60000	30000	15000	8000	2500
最低频率 (赫芝)	15000	7600	4000	1500	1000	500	150
最适宜的频率 (赫芝)	60000	25000	15000	7000	4000	1500	500
采用的发电机 类型(赫芝)	灯式	灯式或 8000~ 10000 机式	灯式或 8000~ 10000 机式	机 式			
				8000~ 10000	2500	2500~ 1000	500

二 单齿淬火法

由于齿轮在工作时受力的情况比较复杂，根据各种机器的传动情况而有所不同。例如在机床传动箱中的齿轮，主要是要求刚性大耐磨性高。而在汽车拖拉机变速箱齿轮或其他动力机器（内燃机机车，电力机车等）中的传动齿轮，是要求较高的疲劳强度和高的耐磨性。因此对于齿轮材料的要求应该注意下列几方面：

1. 要有足够的抗弯强度、疲劳强度和刚性。
2. 能承受高的接触压力。
3. 有高的耐磨性。

为了使齿轮能达到以上各项要求，只依靠钢材本身原有的性能，是难以达到的。因此必须借助各种热处理工艺。例如用合金钢渗碳淬火，能保证得到足够高的疲劳强度和耐磨性。或者采用中碳钢经各种表面淬火提高齿表面的耐磨性等等。

目前认为用合金钢渗碳淬火后的齿轮，它的质量为最高。因

为渗碳淬硬层是沿着齿形的轮廓分布的，这样既能保证足够的强度又有高的耐磨性。但是通常的渗碳淬火工艺的周期很长，又不能装置到制造齿轮的整个自动生产线中去。因此目前除了采用高频加热渗碳淬火的先进工艺外，同时采用了中碳钢经高频加热淬火来达到高质量的齿轮。

根据齿轮直径和模数的大小，有各种加热淬火方法。模数4~6以下的齿轮，一般采用整个齿轮同时加热，而使齿轮的齿全部淬硬，不能获得沿齿形轮廓分布的淬硬层。如果要获得沿齿形轮廓分布的淬硬层，就应该满足下列要求：

$$f = \frac{300000}{M^2},$$

式中 f —— 频率（赫芝）； M —— 齿轮模数。

由公式中的条件分析结果，对于小模数的齿轮在射频加热时能得到沿齿形轮廓分布的淬硬层，而模数大的齿轮加热时，就必须要有很大的单位功率和适当的频率才能达到要求。但目前大功率的高频设备还不能满足要求。例如模数4~5毫米的齿轮，在普通的射频电流加热时，如果要获得沿齿形轮廓分布的淬硬层，单位功率就要在10~12千瓦/厘米²左右进行瞬时加热淬火才能达到。但最适宜的频率是15000~100000赫芝，但目前还没有这种高频发电设备。因此整体齿轮的同时加热，是不容易得到理想的淬硬层。所以采用单位功率较小的单个齿逐齿加热淬火，既能得到理想的淬硬层，又能采用普通小功率的高频设备来加热。

单齿淬火的方法有二种：

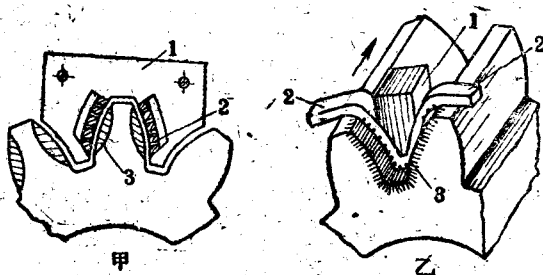
1. 只使齿的受磨表面进行淬火的〔沿齿〕淬火法（见图二甲）。
2. 使齿的受磨表面和齿沟同时淬火的〔沿沟〕淬火法（见图

三乙)。

这二种方法根据齿的宽度都可以采用逐齿同时加热淬火或者連續循序加热淬火。

对于中等模数的齿輪，除了采用单齿淬火法以外，还可以采用“双頻加热淬火”。例如模数4.5的齿輪先用音频电流短時間(3~5秒)加热齿沟到850°C，然后再用射頻电流在极短時間(0.6~0.9秒)內加热齿部到850~900°C后淬火。采用的单位功率为1.5~2.0千瓦/厘米²。这样能获得沿齿形輪廓的淬硬层。

最近有人采用淬透性能低的鋼材(例如用0.5~0.6% 碳，<0.2% 錳，0.1~0.3% 鈦或鈳，<0.15% 鉻，<0.25% 鎳的鋼)做齿輪，用普通的灯式高频設備加热淬火。这样也能得到理想的淬硬层。



图二 单齿淬火法示意图。

甲—[沿齿]淬火法；乙—[沿沟]淬火法。

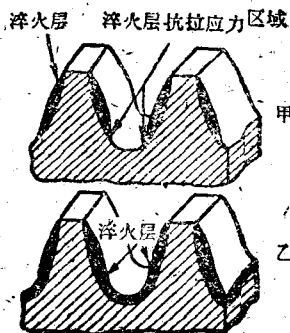
1—导磁体；2—感应器工作部分；3—淬硬层。

三 单齿淬火淬硬层的特性

上节中所提到的单齿淬火方法，所得到的淬硬层如图三所示。图三甲为[沿齿]淬火所得之淬硬层的分布特征，图三乙为[沿沟]淬火所得之淬硬层的特征。

一般的傳動齒輪，为了提高耐磨性，都在受磨表面按图二甲的淬火法进行淬火。但是在傳動大功率的齒輪中，这种淬火方法就不能滿足要求了。

在电气機車、內燃機車重型的傳動齒輪中，由于傳遞的动力較大，不但齿面磨損的情况严重，而且齿部所受的循环弯曲力量也是相当大。虽然将齒輪「沿齿」淬火，但是由于齿的根部产生疲劳裂紋而使齿根断裂。因此这种「沿齿」淬火法对于重型傳動齒輪不能适合需要。



图三 大模数($M > 7$ 毫米)齒輪的淬火的淬硬层分布:

甲—仅使齿間的摩擦表面淬火；
乙—齿的摩擦表面和齿沟都进行淬火。

「沿齿」淬火法所得到的淬硬层（图三甲），由于在齿根处消失，不能使齿根部分得到硬化，所以不能提高齿根部分的强度。另一方面表面淬火的淬硬层中的内应力为压应力，而非淬硬层中则为拉应力，所以在「沿齿」淬火淬硬层的齿根部分处在拉应力的状态。所以当齒輪傳受动力时，由于齿根未淬硬部分的强度沒有提高，而且又存在拉应力削弱了齿根的强度，因此加速了齿根疲劳裂紋的形成，最終使齿根断裂而遭到損坏。由于这些原因，所以提出了改变齿的淬硬层的分布特征，而采取「沿沟」淬火法来加强齿根部分的强度，使齒輪的使用寿命显著地增长。

为了比較不同淬火法所得到的淬硬层的性能，曾經制造了45鋼和40X鋼的齒輪試样，試样的尺寸为：模数=10，齿数=18，齿寬=20毫米，齿根的圓角半徑为3毫米。在脉动水压机上进行齿部的弯曲試驗，試样受循环負載在五百万次以上不損坏为合格。

45鋼試样的最小負載为 500 公斤, 40 X 鋼試样的最小負載为 2500 公斤。試驗的結果見表 3。

表 3 各种淬火法的齿輪強度的比較

序 号	表 面 淬 火 方 式	鋼号及預先热处理	疲勞强度極限 公斤/毫米 ²		
			σ_m	σ_v	σ_0
1	不淬火	45鋼正火 H_B192	27.0	19.0	43
2	“沿齿”淬火, 淬硬层硬度 $R_{C56} \sim 58$, 深度 1.5 毫米。(灯式高频)	45鋼正火 H_B192	23.5	16.0	37
3	“沿沟”淬火, 淬硬层硬度 $R_{C56} \sim 58$, 深度 1.5 毫米。(灯式高频)	45鋼正火 H_B192	30.0	22.0	49
4	“沿沟”淬火, 淬硬层硬度 $R_{C56} \sim 58$, 深度 3 毫米。(机式高频)	45鋼正火 H_B192	32.5	25.0	53
5	“沿齿”淬火, 淬硬层硬度 $R_{C54} \sim 55$, 深度 1.5 毫米。(灯式高频)	40 X 鋼調质 H_B270	50.0	11.5	40
6	“沿沟”淬火, 淬硬层硬度 $R_{C54} \sim 55$, 深度 1.5 毫米。(灯式高频)	40 X 鋼調质 H_B270	65.0	27.0	80

注: σ_m = 平均循环应力;

σ_v = 循环应力幅度;

σ_0 = 脉动负荷极限应力。

从表 3 的試驗結果中可以看出, 当 45 鋼 [沿齿] 淬火时, 疲勞强度仅达到 23.5 公斤/毫米², 比不淬火的 (27.0 公斤/毫米²) 反而降低了 3.5 公斤/毫米²。其中以机械式高频加热的 [沿沟] 淬火所获得的疲勞强度为最高, 可达到 32.5 公斤/毫米²。

因此, 采用 [沿沟] 表面淬火法肯定能提高齿根的疲勞强度。而利用机械式高频加热 [沿沟] 表面淬火比灯式高频加热更能提高齿根的疲勞强度。因为机械式高频加热 [沿沟] 淬火能使齿沟获得更理想的淬硬层的深度和应力的分布, 因而更有利于齿根疲勞强度的提高。

在采用 [沿沟] 单齿淬火时, 由于齿沟部分的几何形状特殊,

因而在淬火后淬硬层中的应力分布较复杂，所以当淬火工艺不正确时，则在齿根圆角部分容易形成裂纹。另外如果采用灯式高频加热设备进行〔沿沟〕淬火时，由于电流频率较高，虽然在感应器上加有导磁体，但在齿沟部分很难获得较深的淬硬层，因而使齿根的强度不容易提高。根据以上的情况，最好采取联合的表面强化法，使齿轮的疲劳强度能更进一步的提高。目前采用的联合表面强化法有：

1. 〔沿齿〕表面淬火再经过喷丸处理。
2. 〔沿齿〕表面淬火再经过滚压齿沟。
3. 〔沿沟〕表面淬火再经过喷丸处理。

曾经采用12X2H4A，12XH3A，18XГT，50钢制成模数10、模数16的齿轮，经过各种表面强化后，再进行疲劳强度的试验，同时和渗碳的齿轮作比较。渗碳用固体渗碳剂于 $910 \pm 10^\circ\text{C}$ 进行，渗碳后经 $650 \pm 10^\circ\text{C}$ 高温回火，分别由 $810 \pm 10^\circ\text{C}$ （对于12X2H4A和12XH3A）和 $830 \pm 10^\circ\text{C}$ （对于18XГT）淬入油中，并在 $150 \pm 10^\circ\text{C}$ 回火。

50钢先经 $840 \pm 10^\circ\text{C}$ 淬油 $560 \pm 10^\circ\text{C}$ 回火的调质处理。

〔沿齿〕高频淬火工艺是在功率90瓩、频率为30万赫芝的ЛЧ-140/40型灯式发电机上进行，〔沿沟〕高频淬火在功率100瓩，频率为8000赫芝的机械式发电机上进行，处理时其输入功率为55瓩，移动速度为1.5毫米/秒，淬火时用冰冷却。

齿轮的喷丸强化工艺是：转子转速2900转/分，处理时间为2分，钢丸直径为0.6毫米。

齿轮的滚压强化在車床上进行，轱轮的轱压面和齿沟有近似的曲面。轮上的总压力为700公斤，滚压次数为16次。

在脉动机上进行疲劳试验，结果见表4。

表 4 齒輪疲勞試驗結果

鋼 号	表 面 处 理 方 式	疲 勞 極 限	
		公斤/毫米 ²	吨
12X2H4A	滲碳淬火	65.0	9.3
12XH3A	滲碳淬火	50.0	7.1
18XГТ	滲碳淬火	26.0	3.7
18XГТ	滲碳淬火+噴丸處理	42.5	6.1
50	“沿齒”淬火	32.5	4.6
50	“沿齒”淬火+滾壓處理	51.0	7.2
50	“沿齒”淬火+噴丸處理	47.5	6.8
50	“沿溝”淬火	26.0	3.7
50	“沿溝”淬火+噴丸處理	30.0	4.3

从强度上来看, 最好的結果要算鎳鉻鋼 (12X2H4A 和 12XH3A) 滲碳齒輪, 其中 12X2H4A 鋼齒輪的疲勞强度可達 65 公斤/毫米²。

50 碳鋼齒輪經 [沿溝] 或 [沿齒] 淬火均不能显著的提高疲勞强度, 所以用 50 碳鋼製造表面淬火的大模數齒輪是不适宜的。

如果 50 碳鋼齒輪經 [沿齒] 淬火后, 再經過噴丸處理或滾壓處理, 由于改变了齿根部分內應力的分布, 因而大大地提高了齒輪的疲勞强度, 甚至于可与 12XH3A 滲碳齒輪有相等的强度。因之借助于合理的表面強化用碳鋼來代替合金鋼製造齒輪是可能的。

四 淬火工艺对淬火质量的影响

在高頻淬火中影响淬硬层质量的工艺因素, 主要有: 加热用的頻率、单位功率、加热速度、加热溫度、工件和感应器之間的移动速度等几方面。因此我們在淬火时必须很好的考虑这几方面

相互間的关系。

在日常工作中加热用的频率一般是不經常变动的。因为它主要决定于设备的型号（灯式或机式）。如果设备型号规定了，那末频率也基本上不变。因此我們在高頻淬火工艺中重点要考虑的是后面几个因素。

首先我們来談一下单位功率的大小对于淬火质量的影响。

图四是在频率3540周/秒的机式高频发电机上加热时，45碳鋼的淬火深度与单位功率和移动速度之間的关系。图中还表明有温度綫、最高和最低的加热綫、和相应的淬火深度等。从图中可以知道，如果感应器的移动速度为300毫米/分钟保持不变，采用单位功率1.5千瓦/厘米²时可得淬火深度2.5~3毫米。如果把单位功率提高到2.5千瓦/厘米²时，就能得到4~6毫米的淬硬层。所以单位功率愈高，能得到的淬硬层就愈深。单位功率的大小可以从下面的公式中來計算：

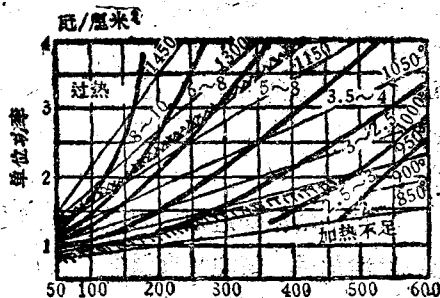
$$P_{\text{单位}} = \frac{P \times K}{S}$$

式中 P ——发电机的額定功率（千瓦）；

S ——同时加热部分的面积（厘米²）；

K ——調整系数。

在3540周/秒的机式高频发电机上加热时，如果采用“沿沟”淬火法，那末 $K = 0.4 \sim 0.7$ 。

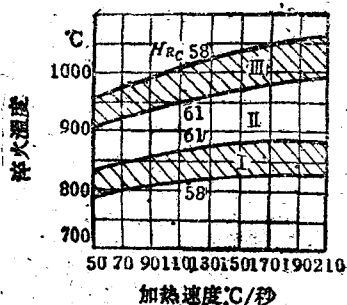


图四 淬火深度和温度与单位功率和感应器移动速度之关系图，零件材料45鋼，频率3540周/秒。

单位功率可以从计算中得到，但从图四中可以知道，虽然单位功率相同，但是也能得到不同的淬火深度。在图四中当单位功率为 2 千瓦/厘米²、感应器移动速度为 200 毫米/分钟时，能得淬硬层 4~6 毫米。如果把感应器移动速度增加到 400 毫米/分钟时，那只能得到 2~3 毫米的淬硬层。所以感应器的移动速度对淬火深度也有相当大的影响。我们根据计算出来的单位功率，来选擇和规定的淬火深度相符合的感应器（工件）的移动速度。同时应该考虑采用低的淬火温度，防止在淬硬层中产生很大的内应力。

高频加热和普通加热的主要不同是在于加热速度的不同。加热速度增加后，钢的相变温度（ A_c ）也随着提高。因此我们在不同的加热速度下有不同的适宜的淬火温度。如果不按照这个基本原理，那末淬火后就会发生不是加热不足便是加热温度过高而造成废品。

图五表示正火的 45 碳钢各种加热速度和淬火温度之间的关系。图中第 II 区域内的加热速度和温度的关系是最适宜。第 I、III 区域还可以采用。在第 III 区域以上就出现过热的淬火组织。第 I 区域以下出现加热不足淬火温度不够。



图五 正火 45 碳钢的加热规范。

当我们所采用的淬火温度固定不变时，加热速度的高低就会影响到淬硬层的深度。加热速度的高低是决定于单位功率的大小和加热时间的长短。表 5 是 45 碳钢试样在 8000 周/秒的机式高频设备上加热后淬水，所得到的加热规范对淬火深度和硬度的影响。

表5 45碳鋼的加熱規範對淬火深度和硬度的影響

頻率 (周/秒)	功率 (仟瓦)	加熱時間 (秒)	淬火溫度 (°C)	硬度 (R_c)	淬硬層總 深度 (毫米)	50%馬氏體區 的深度 (毫米)
8000	140	3.0	890~900	64	2.3	1.8
8000	110	4.5	880~900	63	3.3	2.9
8000	80	8.0	870~900	63	5.0	3.5
8000	60	13.0	870~900	64	6.7	3.9

從表5中可以說明，當功率大加熱時間短，也就是加熱速度快時，在相同的淬火溫度下，所得到的淬火深度就淺。如果功率小加熱時間長，那末得到的淬火深度就深。

經驗證明，淬硬層深度在節圓上應該不超過齒厚的10%，而在齒頂上要稍淺一些。這樣變形不會超過三級精度的公差。深的淬硬層會加大變形，尤其是在用高的頻率進行很深的淬火時，常常會增大過渡區，造成很大的拉應力，甚至出現裂紋。

根據以上所談的幾點，我們在具體工作中，必須要細致地來確定適當的工藝規程，才能獲得理想的結果。為了使工作便利，把各種常用鋼材在不同的原始組織和加熱條件下的淬火溫度列於表6中。

表6 常用鋼材高頻淬火適宜的加熱溫度

鋼 號	淬 火 前 金 相 組 織	預 先 熱 處 理	加熱溫度(°C)當: $\frac{Ac_1 \text{ 以上的加熱速度 } (^\circ\text{C}/\text{秒})}{Ac_1 \text{ 以上的停留時間 } (\text{秒})}$		
			30~60	100~200	400~500
			2~4	1.0~1.5	0.5~0.8
35	細片狀珠光體+粒狀鐵素體	正火	880~920	910~950	970~1050
	片狀珠光體+鐵素體	退火	910~950	930~970	980~1070
	索氏體	調質	860~900	890~930	930~1020

(續)

鋼 号	淬 火 前 金 相 組 織	預 先 熱 處 理	加熱溫度(°C)當: Ac_1 以上的加熱速度(°C/秒) Ac_1 以上的停留時間(秒)		
			30~60 2~4	100~200 1.0~1.5	400~500 0.5~0.8
40	細片狀珠光體+粒狀鐵素體	正火	860~910	890~940	950~1020
	片狀珠光體+鐵素體	退火	890~940	910~960	960~1040
	索氏體	調質	840~890	870~920	920~1000
45, 50	細片狀珠光體+粒狀鐵素體	正火	850~890	880~920	930~1000
	片狀珠光體+鐵素體	退火	880~920	900~940	950~1020
	索氏體	調質	830~870	860~900	920~980
45Г2, 50Г	細片狀珠光體+細粒狀鐵素體	正火	830~870	860~900	920~980
	片狀珠光體+鐵素體	退火	860~900	880~920	930~1000
	索氏體	調質	810~850	840~880	900~960
65Г	細片狀珠光體+細粒狀鐵素體	正火	810~850	840~880	900~960
	片狀珠光體+鐵素體	退火	840~880	860~900	920~980
	索氏體	調質	790~830	820~860	860~920
35X	索氏體	調質	880~920	900~940	950~1020
	珠光體+鐵素體	退火	940~980	960~1000	1000~1060
40X, 45X, 40XHM	索氏體	調質	860~900	880~920	940~1000
	珠光體+鐵素體	退火	920~960	940~980	980~1050
40XH	索氏體	調質	840~880	860~900	920~980
	珠光體+鐵素體	退火	900~940	920~960	960~1020

五 单齿淬火用感应器

单齿淬火用感应器按加热频率的高低可分为音频和射频二类。每类又可分为〔沿齿〕淬火用和〔沿沟〕淬火用二种。一般单齿淬火用感应器，由于被加热的表面几何形状比较复杂，因此多数都带有硅钢片制成的或铁淦氧磁物所制成的导磁体，使单齿淬火用感应器的结构比较复杂。

音频加热用感应器 我们来谈一下机式发电机上音频加热用的感应器，图六是大模数齿轮〔沿齿〕淬火用的蝶环式感应器。这种感应器是整个齿加热同时淬火。感应器和齿表面之间的间隙为1.5毫米。蝶环式感应器在沒有导磁体时也能加热齿部。但加上导磁体后不仅使加热效率提高，更主要的是防止了相邻二个齿的加热。导磁体由硅钢片叠成，硅钢片的形状见图六(左下方2)所示。

图七为〔沿沟〕淬火用机式高频感应器。这种感应器同样带有硅钢片制的导磁体，它是連續加热淬火用的。因此结构比较简单。在感应器上带有淬火用的冷却水孔。这种感应器对模数8~14的齿轮連續淬火比较适用。

当齿轮模数为20~50时，图七中所示感应器在制造上就比较困难。目前已采用图八的感应器来加热淬火模数20~50的齿轮。这种感应器上的导磁体可以不用絕緣，直接装在导电綫1的側面小管上。导磁体用层压胶布板来固定。感应器和齿沟之间的间隙应该最小，和齿頂之间的间隙就比较大，这样才能得到合理的淬硬层。图八中所示的间隙为模数50的齿轮淬火时采用的。

射频加热用感应器 当用射频加热进行单齿淬火时，同样可采用蝶环式感应器(图九)。这种感应器是不带导磁体的。