

鋼件感應加热的 工業应用

何 水 譯

冶金工業出版社

中央工艺及机器制造科学研究所叢書之67

鋼件感应加热的工業应用

何 水 譯

冶金工業出版社

在本書中敘述金屬電氣熱處理新的工藝過程及介紹所需的設備。列舉了關於採用高頻率電流加熱進行表面電淬時對結構鋼機械性質、腐蝕疲勞強度、穴蝕和腐蝕耐久性的影響試驗研究結果。

本書介紹了中央工藝及機器製造科學研究院所研究出的淬火設備，以及結構完善的低頻率感應裝置。

本書供工廠和科學研究機關從事金屬電氣加熱和熱處理的技術人員之用。

ЦНИИТМАШ
ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА
СТАЛИ

МАШГИЗ (Москва-1954)

鋼件感應加熱的工業應用

何 水 譯

編輯：陳略 設計：趙 苓、魯芝芳 責任校對：楊德昭

1958 年 5 月第一版 . 1958 年 5 月北京第一次印刷 2,700 冊

850×1168 · 1/32 · 68,400 字 · 印張 $4 \frac{2}{32}$ · 定價 (10) 0.80 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

選題號 3097

書號 0807

冶金工業出版社出版 (地址：北京市燈市口甲 45 號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

目 录

序言	4
B. H. 諾維柯夫、A. B. 拉布琴柯夫、E. H. 費多羅娃、C. M. 加馬茲柯夫： 采用表面电淬以提高泵桿的強度	6
T. A. 瓦舒羅娃、C. A. 拉格爾克維斯特： 桥式起重機導輪的表面淬火	24
C. M. 加馬茲柯夫、Г. З. 斯羅沃賀切夫： 軋制齒輪用鋼坯的感應加熱	43
Ю. М. 博加特列夫、T. A. 瓦舒羅娃： 表面淬硬鋼鑄件在侵蝕介質作用下的性質	48
Ю. М. 博加特列夫、C. M. 加馬茲柯夫： 冷變形鋼的電熱處理	65
B. B. 亞歷山大羅夫： 低頻率感應裝置的改進	86
B. B. 亞歷山大羅夫、Г. З. 斯羅沃賀切夫： 機械變頻機所附的萬能淬火變壓器	108
Г. З. 斯羅沃賀切夫： 感應加熱時變頻機工作規範的選擇	115

序 言

本書的目的，在于向广大的專家讀者介紹中央工艺及机器制造科学研究所最近时期所进行的金屬电热和电热处理方面的試驗研究結果。

書中主要闡述生产上采用感应加热的新工艺过程的試驗研究工作。所述的材料有助于加热和热处理过程的进一步强化以及新的先进生产方法的推行。同时書中还有几篇說明創制新型的低頻率感应加热裝置和淬火設備的工作結果的論文。

在“采用表面电淬以提高泵桿的强度”一文中，說明了采用感应加热对非常細長的工件进行表面强化的方法。並举出开采石油所用泵桿表面淬火的試驗研究結果作为例子。文中首次指出采用超高頻率或高頻率电流进行实际上不会撓曲的表面电淬的可能性。文中並且指明采用表面淬火对提高結構鋼在腐蝕介質影响下的循环强度有特別的效果。

在“桥式起重机导輪的表面淬火”一文中，闡明了創造起重机导輪受振表面新的电淬工艺过程的全套研究工作。在說明电热表面淬火工艺过程研究結果的同时，还將它与現行的氧——乙炔焰加热淬火过程的試驗作了对照。文中还說明了作者所研究出的淬火設備（淬火机床和加热設備）。

在“軋制齿輪用鋼坯的感应加热”一文中，闡明了將电热应用于制造圓形齿輪的工艺过程的結果，这种齿輪是热狀態下放在中央工艺及机器制造科学研究所設計的軋机上軋制而成。加热設備直接配置于軋机系統中就使齿輪軋制生产的全部过程易于自动化。

在“表面淬硬鑄鋼在侵蝕介質作用下的性質”一文中敘述了低合金鑄鋼腐蝕和穴蝕耐久性以及腐蝕疲劳强度的試驗結果。用試件所进行的这种試驗，指出表面淬火对于鋼在可变負荷的作用下和腐蝕介質及穴蝕破坏同时影响下的耐用性有極为有效的影响。

在“冷变形鋼的电热处理”一文中，叙述了10号和Я1Т号冷变形鋼的試驗研究結果。这种試驗研究有助于确定电热方法推广到新的生产工艺过程的可能性。

在“低頻率感应裝置的改进”一文中，說明了用于不同加热目的的低頻率感应加热裝置的構造，並提出了主要計算、操作分析和技術規格。

在“机械变頻机所附的万能淬火变压器”一文中，闡述了中央工艺及机器制造科学研究所 M. Б. 別列任斯基领导研究的高頻率裝置一部件（机械变頻机所附的功率为750 仟伏安的淬火变压器）的技術規格。此变压器的优点是能够用改变一次綫圈圈数的方法，易于將变压器調整为工件最理想的加热規格。

在“感应加热时变頻机工作規范的选擇”一文中，載有淬火加热时將功率60和100 仟瓦（2500 週波）的机械变頻机向工件發送的功率調整为最大值的試驗研究結果。为了便于將發电机調整为最理想的規格，文中还載有作者研究出的圖表。

向讀者介紹的这本文集，反映了中央工艺及机器制造科学研究所中央表面电淬处研究工作的基本方向。

Б.Н.諾維柯夫工程師、А.В.拉布琴柯夫技術科學博士

Е.П.費多羅娃工程師、С.М.加馬茲柯夫工程師

采用表面电淬以提高泵杆的强度^①

苏联大部石油鑽井是用深处泵来进行开采的。現時石油开采量的提高在很大程度上决定于泵杆的寿命。开采石油所采用的深处泵杆，它的工作条件是复杂而特殊的。开采石油鑽井时，泵杆的作用是傳动深处泵，按其工作性質，它受到侵蝕性介質和变化应力的同时作用。这种工作条件引起了侵蝕疲劳現象，使泵杆的使用寿命大为减低。

进行开采时，泵杆降到鑽井內非常深的地方(好几百公尺)；为此，每截泵杆之間用接手擰接起来。泵杆的一端与泵的柱塞相連，另一端懸掛在搖臂的平衡杆上。若泵杆的强度不够，就会因为它在工作中折断而常常引起事故。为了消除泵杆的折断处，便須將其由鑽井內取出，这就引起深处泵長時間的停歇，石油开采量的降低和开采費用的增高。由于石油鑽井有更进一步加深的趋向，因而对泵杆的强度就会提出更高的要求。

虽然泵杆的工作条件很困难，但增加泵杆强度的問題总还是没有得到有效的解决。特別是到最近为止，还没有采用热处理的办法来提高泵杆强度，这是由于在大量生产的条件下，泵杆的热处理有很大的困难：又細又長的泵杆（長8公尺，直徑16—25公厘）在热处理时扭曲得很厉害。

未經热处理的泵杆，其机械性質很低劣，大为限制了石油开

① 本論文在1952年11月29日經中央工艺及机器制造科学研究院科学會議工艺組同意。

采的劳动生产率，因此就要求我們进一步改进現有的和寻求新的泵桿生产方法，以提高泵桿的使用寿命。

改进泵桿生产过程的第一步应是采用火焰爐加热，以进行預先的热处理，这样就能制得均質的机械性質很高的泵桿。泵桿的热处理近年来在生产条件下得到推广。利用中央工艺及机器制造科学研究院工作組所研究出的專門机械設備[1]，可以进行大量泵桿的全長热处理（常化）。为了防止泵桿扭曲，該設備設有夾紧和拉直裝置，这样就可使热泵桿在热处理过程中进行校直。

由于表面强化的先进方法（輥压表面硬化或噴丸处理和高頻率电流加热的表面淬火）在工業上的广泛应用，这就使进一步改进制造泵桿的工艺过程的工作能够繼續进行。沙維林(M.M. Савин)在中央工艺及机器制造科学研究院曾进行泵桿噴丸处理过程的研究。这样試驗处理过的一批100根直徑19公厘、長2000公厘的泵桿在生产条件下受了考驗。考驗的結果証明經噴丸硬化的泵桿，其寿命有显著的提高；这种泵桿的寿命为常化处理泵桿的5—6倍。

特別有發展前途的泵桿制造方法是最先进的金屬表面强化法——高頻率电流加热的表面淬火。中央工艺及机器制造科学研究所进行的淬硬鋼表面週期强度的試驗[2]指明，高頻率电流加热的表面淬火能大为提高中碳結構鋼的堅韌極限（比一般火焰爐热处理——常化或調質——的鋼或噴丸硬化鋼及輥压硬化鋼的堅韌極限高30—100%）。同时，表面淬硬鋼对各种不同表面应力密度（槽、凹口、紧配合等）的敏感性也大为降低。

如果把侵蚀性介質（在疲劳破坏的情况下的作用作为一种使应力集中的作用来研究的話，則以前中央工艺及机器制造科学院所进行的工作[3]，就首次确定了表面淬火对碳素結構鋼的侵蚀疲劳强度有着特別有效的影响。例如，50号淬硬鋼，其表面在3%的NaCl溶液中的耐侵蚀度（当实验基数为 10^7 週期时）为常化鋼的3.5倍，为噴丸硬化鋼的1.6倍。

这些工作使我們有可能設想，泵桿的表面电淬將提高泵桿的

允許極限負荷和工作強度，並能延長泵桿的使用壽命。据此，曾進行了研究，其主要目的在於尋求採用高頻率電流加熱的表面淬火以強化泵桿的新方法。這項工作有下列三個主要階段：

- 1) 研究表面淬火對處於侵蝕介質作用下的碳素結構鋼的侵蝕疲勞強度的影響，此侵蝕介質限制了泵桿的生產操作條件；
- 2) 研究泵桿高頻率電流加熱淬火的工藝裝置和工藝過程；
- 3) 進行一批試驗泵桿的電熱處理，並在試驗台和生產條件下檢驗這些泵桿的侵蝕疲勞強度。

侵蝕疲勞強度的研究

泵桿在操作條件下經受著溶解有氯化物鹽類的極富侵蝕性的地下水的侵蝕作用，此水還常常為硫化氫所飽和，具有很高的酸度。根據泵桿的這種工作條件，曾進行鋼試件的侵蝕疲勞比較試驗。試件是用45號的結構鋼製成，其化學成份如下：C 0.44%，Si 0.27%，Mn 0.60%，S 0.023%，P 0.030%。

有四批試件經受了侵蝕疲勞試驗，這四批試件曾經過下列不同的處理：

- 1) 常化——鋼件加熱至 850° ，然後在空氣中冷卻；
- 2) 調質——鋼件加熱至 $820-840^{\circ}$ ，並在水中淬火；在 $520-550^{\circ}$ 的溫度下進行2小時的高溫回火；
- 3) 噴丸硬化；此種處理是採用直徑0.6—1.0公厘的鐵丸，滾筒的轉數為每分鐘3000轉，噴丸時間為5分鐘；
- 4) 在功率為100仟瓦的高頻率真空管裝置內作順序表面淬火；試件的前進運動速度為14公厘/秒；淬火加熱是在內徑為18公厘的單圈感應器內進行；加熱溫度為 980° ；在 15° 的水內冷卻。

表面淬硬試件縱斷面粗視照相圖示於圖1；淬硬深度約為2.0公厘。

強度的試驗是在中央工藝及機器製造科學研究院設計的 LK-2 型機器上進行，這種機器專用來測驗變化彎曲應力情況下

的侵蝕疲勞強度。試驗侵蝕疲勞強度所用的機器和方法以及試件電淬方法的說明以前業已發表 [3]。

選作侵蝕疲勞強度試驗用的侵蝕介質，有下列三種在成分上接近地下水的溶液：

- 1) 3% 的氯化鈉溶液；
- 2) 為硫化氫所飽和的 3% 的氯化鈉溶液；
- 3) 附加有 0.36 克/公升鹽酸的 3% 的氯化鈉溶液。

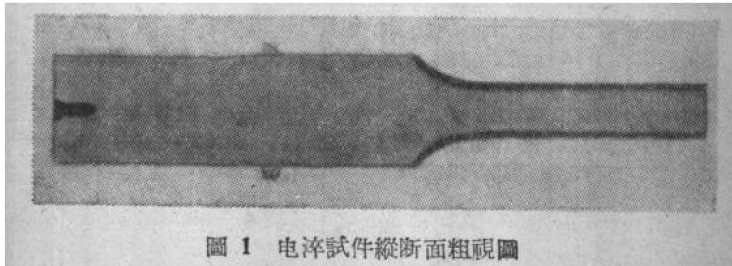


圖 1 電淬試件縱斷面粗視圖

泵桿在未裝入鑽井之前，在貯存或運往使用地點的途中，照例就已受到侵蝕。因此為了研究預先侵蝕對疲勞強度的影響，曾進行了專門的試驗。被試驗過的有三種試件：

- 1) 表面磨光的常化試件；
- 2) 經噴丸硬化和常化處理的試件；
- 3) 表面淬硬並經預先侵蝕的試件。

試件侵蝕試驗經歷了 50 小時，試驗時將其交替地浸入 3% 的氯化鈉溶液和取出放在空氣中乾燥，在溶液中浸 2 分鐘，在空氣中放 17 分鐘。試件經過預先侵蝕後，在大气中試驗強度。侵蝕疲勞試驗的結果示於表 1。

表 1 所援引的侵蝕疲勞試驗結果，指明高頻率電流加熱的表面淬火有着特別有效的影響。泵桿經過這種表面淬火後所具有的侵蝕疲勞強度，比用任何其它處理方法取得的高些。鋼經表面淬火後所具的侵蝕強度極限，在所有各種介質中試驗時為常化狀態鋼的 3.5 倍，在空氣中試驗時幾乎為它的 2 倍，普通熱處理鋼和常化狀態鋼比較起來，前者的侵蝕強度極限提高不多。

表 1

經各种方式处理的 45 号鋼試件的侵蝕疲劳强度

处理試件的种类	試驗基数为 10^7 週期时的强度極限									
	在空气中試驗				在 3% 的溶液中試驗					
	未經預先侵蝕		經預先侵蝕		NaCl		为 H_2S 所飽和的 NaCl		NaCl+0.36 克/公升 HCl	
	公斤 公厘 ²	%	公斤 公厘 ²	强度極限降低的 %	公斤 公厘 ²	%	公斤 公厘 ²	%	公斤 公厘 ²	%
表面磨光並經常化的試件.....	25.5	100	18.8	27	10.0	100	9.2	100	7.2	100
表面磨光並經調質的試件.....	38.8	152	—	—	—	—	12.2	133	—	—
噴丸处理的試件.....	29.7	116	26.4	11	20.2	202	23.2	252	19.0	278
經高頻率电流加热表面淬硬的試件.....	47.5	186	48.7	未降低	35.8	358	32.6	356	26.5	368

如果同噴丸硬化的試件相比，則表面淬硬鋼的侵蝕强度極限的数值也比较高，在空气中試驗时，为噴丸处理鋼的 160%，在 3% 的 NaCl 溶液中試驗时为 177%，在为 H_2S 所飽和的 3% 的 NaCl 溶液中試驗时为 140%，在附加有鹽酸的 3% 的 NaCl 溶液中試驗时为 134%。

所援引的試驗結果証明，預先侵蝕使磨光的試件和噴丸处理的試件的强度極限有極大的降低，磨光試件降低 27%，噴丸处理試件降低 11%。表面淬硬的試件，其坚韧限度並未因預先侵蝕而有所降低。

所有經過淬火的工件，其中也包括表面淬硬的，在淬火后照例是要放入油浴爐或热处理爐中进行回火。由于在电热处理上广泛采用了高頻率加热，故近年来有可能在同一个高頻率裝置上进行电热回火〔4〕。因此在解决泵桿采用高頻率电流表面淬火的問題时，研究回火对表面淬硬鋼侵蝕疲劳强度的影响是有它的实际意义的。

根据上述的看法，曾补充进行了經电热回火和油浴爐內普通回火的 50 号鋼試件的侵蝕疲劳强度試驗。表面淬硬試件的电热回

火，是淬硬后接着將其加热至350°C。試件經過这种电热回火后，其表層硬度相当于在油浴爐 160° 情况下回火 2 小时的試件硬度。有一批試件是在淬火后未回火的情况下进行試驗的。

試件在 3% 的 NaCl 溶液內的侵蝕疲劳强度試驗結果見表 2。試驗基数为 10^7 週期。这些結果指明，所有这三类按不同方案回火的表面淬硬試件，其强度極限几乎是相同的（約40公斤/公厘²）。这些資料也証明，在不降低强度性質的条件下取消淬火后通常采用的低溫回火是可能的。

表 2

50 号鋼試件在 3% 的 NaCl 溶液中試驗时的侵蝕疲劳强度

热处理的种类	淬火后热处理特性	硬 度 R_C	侵蝕强度 極 限 公斤/公厘 ²
水冷 ($t=20^\circ$) 表面淬火	在油浴爐內180°的情况下 2 小时回火	53—55	35.8
同 上	未回火	55—58	40.0
同 上	高頻率电流电热回火，加热温度約350°	53—55	40.7
水冷 ($t=40^\circ$) 表面淬火	未回火	55—56	40.3

取消爐內或浴爐內低溫回火的可能性还有着很大的技术經濟效果：無須設置粗大的热处理爐，建立新的泵桿表面电热处理工艺过程作業綫，提高泵桿热处理的生产率等等。

由于高頻率电流表面淬硬鋼和噴丸硬化鋼相比，具有很高的侵蝕疲劳强度，所以我們有根据推荐采用这种極為有效的泵桿表面强化方法，並进行相应的操作試驗。

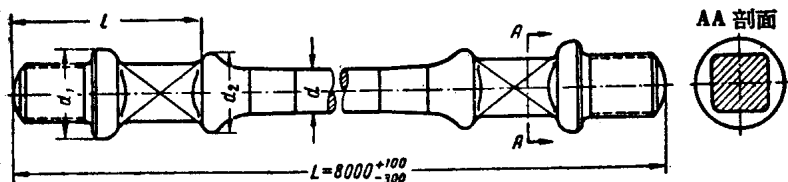
泵桿的电热处理

泵桿的尺寸和材料

泵桿是一种直徑 16—25 公厘，长达 8 公尺的圓截面工件。泵桿兩端有凸节头，头上刻有螺紋，以便借接手互相联結。凸节头的中部有方頸，以便用搬子能扳动。有一种泵桿是用 40 号的热軋鋼制成。泵桿的主要尺寸見圖 2。

在加热和淬火試驗工作中所使用的是直徑 16 和 19 公厘、長

500 公厘的泵桿試件；試件的一端或兩端有加粗的端頭，這與泵桿的凸頭相似。



泵桿的主要尺寸				重 量 公斤	泵桿的主要尺寸				重 量 公斤
d	d_1	d_2	l		d	d_1	d_2	l	
16	35	32	67	13.0	22	43	38	73	24.5
19	38	37	73	18.5	25	51	46	91	33.9

圖 2 泵桿的略圖和主要尺寸

泵桿試件的電熱淬火

在生產條件下實現泵桿表面淬火，是有一定的技術困難的。泵桿具有很大的長度（8 公尺），很細的截面（直徑 16—25 公厘），泵桿端部有凸頭，凸頭的加粗截面比圓柱部分截面約大一倍，這些都使電熱淬火過程複雜化，所以要求解決泵桿高頻電流表面淬火工藝過程的許多重要的和原則的問題。其中主要的問題如下：

a) 選用合理的泵桿加熱用的電流頻率和感應器構造；

b) 研究出能保證泵桿不扭曲的高質量淬火的工藝裝置。

還必須考慮到，由於泵桿有很大的長度，其淬火只能用循序加熱來進行，即沿泵桿移動感應器或沿固定的感應器移動泵桿來進行加熱。

高頻電流表面淬火時，感應器與被淬工件表面之間的空隙有極重要的意義。同時，在其它電淬條件相同的情況下空隙越小，加熱，強度和感應器效率就越高。實際上空隙的尺寸通常為每邊 3—5 公厘。

因泵桿的端部是加粗的，故为了淬火加热这种端部，必須采用特殊構造的可分离的感应器，或采用普通構造の感应器，但空隙距离要增加。在后一情况下，感应器的内徑应比泵桿端部直徑大一些，只有这样，泵桿加粗的端头才可自由地穿过感应器。

为能确定最合理的泵桿电淬电流頻率以及此頻率对淬火結果的影响，試件的表面淬火是在各种不同电流頻率裝置上进行：

1) “电工” (Электрик) 工厂的 ПБ-100/2500 型机械發电机，功率为 100 仟瓦，頻率为 2500 週波；

2) “电工” 工厂的 ПБ-100/8000 型机械發电机，功率为 100 仟瓦，頻率为 8000 週波；

3) 中央工艺及机器制造科学研究所設計的 Г-100 型真空管式發电机，功率为 100 仟瓦，頻率为 200000 週波。

泵桿試件的电热淬火是以連續循序方式进行，它在淬火过程中以約 100 轉/分的速度旋轉。加热是在銅管制成的單圈感应器内进行；噴液器直接安置在感应器的下方。

泵桿試件加热的試驗工作指明，虽然有着各种不同的加热参数（功率，淬火速率，感应器構造，空隙尺寸），但在电流頻率为 2500 週波的机械發电机的裝置上使直徑 15 公厘的泵桿試件淬火时，仍不能获得表面淬硬層。試件通常获得深透的淬硬，接近于透过性的淬硬。提高單位功率和將空隙縮小至正常数值（縮至每边 3 公厘）以提高淬火速率，虽能促使淬硬層深度縮小，但同时，又不能保証表面淬火所必須的加热程度。結果表面淬硬層就具有非完全淬火的結構——帶有很大部分肥粒体的馬氏体；由表面到中心的硬度降落非常均匀。直徑 19 公厘的試件的淬火得出了較好的結果。

用 8000 週波的机械發电机加热时，表面淬火获得了較好的效果；这种試件淬火是在斯大林工厂 (ЗИС) 的高頻率設備上进行。这种頻率的电热淬火保証了表面硬度为 $R_c = 54-56$ 和淬硬層深度約为 4 公厘。淬火是在感应器和試件間距 3 公厘和 12 公厘的情况下进行。試件表面淬硬層的显微組織是潛晶的馬氏体，

其过渡層为帶肥粒体的屈氏体——馬氏体。

用真空管式發电机进行的泵桿試件淬火，即令在試件同感应器間距約等于10公厘的情况下，也能得出明显的深度約为3公厘的高硬度表面淬硬層。試件的全長上具有厚度均匀的淬硬層。圖3

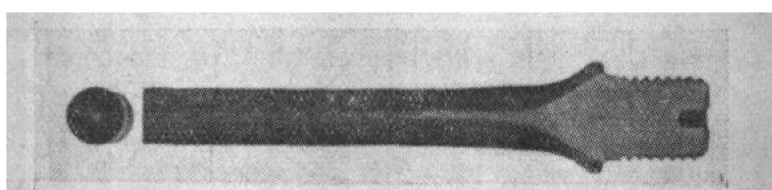


圖3 直徑为16公厘的試件的縱断面和橫断面粗視試片圖。淬火速率为10公厘/秒；电流频率为2500週波

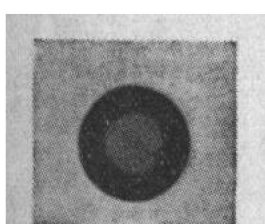


圖4 直徑19公厘的試件的橫断面粗視試片圖。淬火速率为21公厘/秒；电流频率为8000週波

和圖4所示为試件在2500和3000週波的机械發电机上淬火后的断面粗視試片圖。泵桿試件的电热淬火规范見表3。

帶机械發电机的高频率裝置具有較高的效率(其效率是80—85%，而真空管式發电机是50—55%)，工作較稳定，这一点在大量生产条

表3

泵桿試件电热处理规范

泵桿試件的 直徑，公厘	感 应 器 的 数 据①			电 热 淬 火 規 范		
	內 徑 公厘	管 截 面 公厘	电 流 頻 率 週波	淬 火 速 率 公厘/秒	發 电 机 功 率 仟瓦	冷 却 方 式
16	36	10×14	2500	10	85	} 水冷， t=15°
19	44	10×14	8000	8	35	
19	24	25×12	8000	21	43	
16	40	12/10	200000	3	100*	
19	40	12/10	200000	6	100*	

① 感应器为單圈的。

* 飯極电路功率。

件下特別重要。因此，为了使泵桿表面強化，最适合还是采用 8000 週波高頻率电流的机械發电机。

还有一个优点，就是这种設備允許將泵桿淬火机床直接設置在生产作業綫上，而將高頻率机組（机械發电机）設置在專門的房間內，这房間可以位于离工作地点 100—200 公尺的地方。这样，当必須裝設好几个裝置在生产作業綫上进行大量生产时，就易于建立高頻率机組总的供电和操縱站。

長工件淬火时，高頻率电流还有比超高頻率电流优越之处，这就是可能不移动泵桿而实现淬火。使用机械發电机时，帶高頻率变压器的感应器沿淬火工件移动；而使用真空管發电机时，要使感应器移动相当的距离实际上是困难的。这时为了淬硬工件，就必须有这样的淬火机床，它允許載泵桿的台子移动，这就使机床的長度延長到 16 公尺（比泵桿長度大一倍）。

由于考虑到实现泵桿电淬过程的特点（在同一感应圈內淬硬其圓柱部分、凹部以及凹部上所連的桿头凸部），並考虑到泵桿試件淬火的經驗，可以作出結論：在生产条件下宜于采用非卸开的感应器。虽然这种非卸开的感应器，因其和泵桿圓柱部分之間留有較大的空隙，故效率較低，但是它在泵桿电淬的生产条件下較為方便。

几批試驗性泵桿的表面淬火

細長工件的表面电淬，具有極大的困难，这是因为在通常条件的淬火过程中不可能避免工件的撓曲。感应淬火时，即令泵桿較短（700—1000 公厘），且在感应器和泵桿之間留有相当的空隙（10 公厘以上），泵桿也会撓曲並与感应器接触。

为了消除这种工件在淬火过程中的撓曲，在表面电淬的試驗中首次采用了專門的拉紧裝置。所研究出的这种裝置，保証泵桿在加热和淬火过程中受有約 2000 公斤的拉力；泵桿的拉紧是借在助压縮状态下的彈簧来进行。这种裝置是利用中央工艺及机器制造科学研究院原有的長工件淬火机床經研究改裝而成；拉

緊裝置是固定在淬火機床上頂尖與下頂尖的主軸上。在這種機床上可以進行 2 公尺長泵桿的淬火。泵桿呈豎立狀態放置在淬火機床的上述裝置內，它在淬火過程中以 100 轉/分 左右的速度轉動，這樣就給均勻的加熱和淬火冷卻創造了最好的條件。泵桿的拉緊保證了淬火後得出完全令人滿意的結果；2 公尺長的泵桿實際上沒有彎曲。

泵桿的順序加熱和冷卻的方式，是按指定速度將感應器、淬火用高頻率變壓器和緊連在淬火機床座子上的噴霧器等自下向上沿泵桿移動。機床座子是用液壓傳動。

電熱淬火時的溫度用光學高溫計測量，電熱回火時是借測溫色料來進行。總共曾處理了兩批泵桿：

1) 直徑 19 公厘、長 1000 公厘、由 40 號常化鋼制的泵桿；這種泵桿用來在台架上進行侵蝕疲勞強度的試驗；泵桿的淬火是在帶真空管發電機的高頻率裝置上進行；

2) 直徑 19 和 22 公厘、長度 1000 和 2000 公厘、由 40 號熱軋鋼和常化鋼制的泵桿；這泵桿用來裝在鑽井內進行生產試驗；其淬火是在帶真空管發電機和機械發電機（電流頻率相應為 200000 和 2500 週波）的高頻率裝置上進行。

採用 2500 週波電流進行泵桿的電淬，是因為當時不可能用 8000 週波的發電機來處理它們的緣故。同時直徑 22 公厘的泵桿在 2500 週波的頻率下處理時，也可以得到表面淬火。有一批電淬泵桿經過了電熱回火。這種回火是在淬火用的同一高頻率設備上進行，進行的方式是在電淬後緊接著將功率降低，並使感應器由上向下作反回的運動。

經過預先熱處理（常化）的泵桿有相當的彎曲，1 公尺長的泵桿的彎度達到 5 公厘，有時更大些。所有經過常化的泵桿，在電熱淬火前都進行預先的校直。泵桿的淬火是在非卸開式的單圈和雙圈感應器內以順序方式進行。感應器的內徑允許泵桿的粗大部分自由通過。圖 5 所示為泵桿電淬用的感應器，圖 6 所示為帶有泵桿、感應器和高頻率變壓器的淬火機床總圖。