

高 頻 热 处 理 丛 书

第 5 册

表面淬火质量檢驗

〔苏联〕E. И. 叶凡古洛娃 著

— 小 冰 譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书原版第一版于1954年出版，曾由本社翻譯出版。1957年原书有了第二版，內容有相当大的修改，若干册书名亦有更改，为此根据新版本重譯重排，陸續出版。

本书为高频热处理丛书的第五册。介紹了用高频电流感应加热淬火的鋼制件的表面质量檢驗，較詳細地敘述了各种檢驗方法，并分析产生疵病的原因。較第一版又增加了利用高频加热淬火的中碳鋼的馬氏体显微組織标准。

高频热处理丛书

第 5 册

表面淬火质量檢驗

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

原 著 者 [苏联] Е. П. Евангулова

原出版者 Машигиз · 1957年第二版

譯 者 小 冰

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可证出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

大东集成联合印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 1 8/32 字数 27,000

1962年2月第1版 1962年2月第1次印刷

印数 1-6,000

統一书号：15119·1651

定 价：(十二) 0.17 元

原 序

B. П. 沃洛格金教授发明的利用高频电流感应加热进行金属热处理的方法, 在苏联工业中已获得广泛的应用, 特别是用于鋼制机器零件的表面淬火。为了充分利用这一方法, 不但要善于进行零件的热处理, 而且还要能够充分客观地鉴定所得的结果, 并找出产生廢品的原因。換句話說, 必須有正确的檢驗, 要做到这点, 就只有依靠仔細的金相分析。

利用高频感应电流加热淬火的零件, 作金相分析时, 在許多方面不同于用普通加热方法淬火的零件。

本书討論了高频淬火所用的檢驗方法, 并总結了以沃洛格金教授命名的高频电流科学研究所以及苏联各工厂的工作經驗。

本书第二版作了一些修改和补充。特别是增加了利用高频加热淬火的中碳鋼的馬氏体显微組織标准。

作 者

目 录

原 序	
引 言	1
第一章 檢驗制件前的准备工作	6
第二章 檢驗方法	10
1. 表面檢驗	10
2. 断面檢驗	14
3. 宏观磨片檢驗	15
4. 硬度檢驗	19
5. 显微組織檢驗	23
6. 变形檢驗	30
第三章 几种常見的廢品	31

引 言

零件高频淬火的特点首先是，在大多数场合下只对一定厚度的表面层施行淬火。这就使零件内部的机械应力具有独特的、与电炉和盐浴炉中淬火时不同的分布状态。由于经受淬火的只是表面一层，就不得不考虑与零件强度有关的一些问题；表面淬火零件的疲劳强度和冲击韧性，跟透硬淬火比较也有重大的改变。

高频淬火的另一个特点是，对加热过程的控制可以非常灵活。但是直接检查温度还是有許多困难。因此，为了检查选定的热处理规范是否合理，就必须进行金相分析，以研究金属的组织，并且根据所得的结果校正电加热规范。

高频淬火结果的检验应该区分为三种鉴定情况。

(1) 调整新零件的淬火过程时对淬火结果的检查。

在这种情况下，当一个零件淬火后就須加以詳細的、有时是全面的检验。根据检验的结果定出一个大致的规范，然后将零件重新淬火并再行检验。如此反复检验校正，一直到最后确定出适用于成批或大量生产的电加热规范、最合适的感应器外形以及淬火工艺为止。

(2) 在成批或大量生产同类型零件中对淬火结果的检查。

此时是按一定的标准从每一批中抽取若干个零件进行检验，抽查的标准有时在工艺卡中有规定。

(3) 查究产生废品的原因。

在这种情况下，对于在生产过程中损坏的或使用时报坏

的零件应加以檢驗。

在上述三种情况下，檢驗高频淬火的結果可用多种不同的方法。其中有几种方法是要破坏零件的。最好能同时应用几种檢驗方法。

每种方法各有其特点，适用于一定的目的。例如表面檢驗一般是在其他檢驗之前进行的，主要就是察看零件的外表和表面浸蝕。根据这种檢查可以大体上判断处理过程中所采用的加热溫度。表面浸蝕可以显露淬火区，并可发现許多疵病，例如显微裂紋、未淬火区。表面檢驗法的最大优点是可以用在成批生产中，因为不需要破坏零件。

观察零件的断口能近似地、但迅速地发现淬火层的輪廓、深度和质量。当然，进行这项檢查时一定要破坏零件，但由于这种方法特別快，所以也就很方便，尤其是在調整大批同类型零件的淬火工艺过程时特別便利。

制成宏观磨片后檢視零件的剖面，可以判断淬火层的輪廓。

所謂宏观磨片，就是用肉眼可以看到淬火层的、經過磨光和浸蝕的零件断面。制作宏观磨片时，把零件沿一定的面切开。用專門的浸蝕剂处理截开的光滑面，于是金属的淬火部分便呈現較暗的色彩。利用宏观磨片可以按淬火层的輪廓檢查感应器的构造是否正确，得到的淬火层有多深。但是，我們在后面就要談到，用这个方法求得的淬火层深度不是真实的深度，它有个專門名称叫做“宏观深度”。这个方法的缺点是必須破坏零件，但檢驗的結果比断口法要精确和完善。

按硬度来檢查淬火結果是最方便又是最常用的方法之一。不論在零件的表面上或是在零件的断面上都可以測量硬度。用这种方法可以客观地測定淬火区。測量纵深硬度大多

在宏观磨片上进行，經過这种測量可以精确地判断淬火层的真实深度，及过渡区的厚度。纵深硬度通常可用图表来表示，这种图表叫做硬度曲綫。在淬火零件纵深上測量硬度，就須要损坏零件，因此这种方法多半用在調整规范的过程中。日常檢驗时一般只限于測量表面硬度。

显微分析是将零件上切下来的試样的表面加以抛光和浸蝕，然后置于放大 100~2000 倍的显微镜下檢查。这种試样叫做显微磨片。显微組織的分析是最詳細的，但同时也是最繁重的，它要求观察者有相当高的技术水平。应用显微分析比根据硬度曲綫更能正确和客观地測定淬火层（也就是具有馬氏体組織的层）的真实深度。

淬火后金属的最硬組織叫馬氏体。馬氏体的形态分为針状和非針状。高频淬火具有非針状形态。

显微分析时，和宏观分析时一样，要破坏零件。

零件淬火时常因其内部发生机械应力而产生变形。測量变形程度，就可以鉴定淬火的质量，特别是在大量生产中常用这种方法。在大多数情况下，高频淬火后零件的变形要比一般淬火时小些，而且变形的量是有规律和一致的。測量变形可用一般通用的量具。利用这种檢驗方法不能詳尽地了解淬火的质量，但就測量变形本身說，对零件以后的机械加工往往有着头等的重要性。

在大量或成批生产中，正确選擇零件的抽样檢驗制度是很重要的。在大部分的情况下实际上只能采取抽样檢驗，即从各批零件中抽取若干个試样加以檢驗。从零件中抽取試样的百分比根据生产条件而定。例如，在鋼的化学成分、处理条件、电源电压等等发生变动时，又如淬火机床不是自动化的或已陈旧时，那末必須从每批中抽取数量較多的零件进行試驗。

如果工艺过程的条件和原料质量都未改变，也没有任何根据足以认为淬火质量有很大偏差，那末只要从一昼夜生产的产品中检查一小部分就可以了。由此可见，使生产过程自动化和保持固定的工艺过程，就可以减少检验零件的数量。

例如，所有零件都要进行外表检查；而比较费事的零件表面浸蚀，就可以从每 20~50 个零件中抽出一个零件检验（指在自动机床上淬火而言）。

对于重要的制件，最好是将全部淬火零件百分之百都经过表面硬度试验。并且，为了检验淬火的均匀度，对每个零件必须在表面上至少试验 3~5 处。

对于全面的金相分析，如一昼夜的平均生产能力为 100 件，一般是从每批 200~300 件中抽取一件。如果是大批生产，且零件的外形很简单，那么可以从每 1000 个零件中抽取一个检验。

在某些情况下，要是淬火过程调整得很好，则对于成批生产的形状简单的小尺寸零件只采用断口检验就可以了。检验时可以从每 20000~30000 个零件中取出一件截开。当然，这种方法适用于易于在所需截面上折断的那些零件，而且只要从断口上大致地判断淬火层的深度时。

为了搞好高频淬火零件的检验工作，建议在检验工段设置一种检验卡。检验卡上包括下列项目：

- (1) 钢号；
- (2) 图纸上规定的淬火层深度；
- (3) 考虑到研磨余量的淬火层深度；
- (4) 表面上和一定深度上的淬火层硬度；
- (5) 心部的硬度和预先热处理的特点；
- (6) 淬火的部位(和淬火层的特殊分布条件)；

(7) 檢驗的部位;

(8) 大量檢驗的类别(硬度、表面质量、变形、有无显微裂纹等等);

(9) 檢查淬火层深度和显微組織的零件的百分数。

使用这种檢驗卡可以把高频淬火零件的所有技术数据集中在一起。

第一章 檢驗制件前的准备工作

为鉴定淬火质量而进行的金相分析，可从流水作业线上抽取制成的零件，或用专供分析的试样。

在前一种情形下，是根据该零件的试验技术条件，从若干批零件中取出一个或几个零件，进行详细的金相分析。

有时成批生产的零件尺寸很大，而需要淬火的只是表面上的一小部分。那么，为了节省人力物力，就不必从整个零件的分析上来调整淬火过程，而只须根据零件的某些部分即可。为此就按照这些部分的原状专门制成小试样，叫做模样。用了模样不仅能节约金属，而且检查淬火质量时工作也方便。根据模样可以选择感应器的形状、加热规范和冷却规范。如果零件的材料是贵重的合金钢，那么起初先用价格较低的钢做模样，按这模样选择感应器的外形。然后再按规定牌号的钢所制的模样选择电加热规范和热处理规范，以获得所要求的淬火层形状和深度及其显微组织。

如果要鉴定该种牌号的钢在淬火时的性能，例如淬硬性、组织转变等等，那么只要用形状最简单的试样就可，一般是圆柱形的试样。

至于检验的准备工作有哪些内容，这要看检验的目的而定。

在表面检验时大多只要用很细的刚玉或金刚砂纸将表面手工打光即可。

检验硬度时（特别是用肖氏硬度计时）必须去除检验部位上的机械加工痕迹；一般都是用砂轮磨去。

制备宏观分析和显微分析用的试样时，选择供检验用的截面是很重要的。一般在淬火时必须获得深度均匀的淬火层。因此，如果怀疑淬火层深度可能有不均匀时，那么在选择截面时，应考虑到有可能发现这种不均匀处。淬火层的不均匀是可能的，例如当零件有圆角、凸肩、凹槽、圆孔、尖锐边缘以及其他复杂的形状时，就会出现这种情形。在有上述这些部分的地区，由于能使零件中感应电流改变通路，有可能产生局部加热和过热。为了比较详细地检查，至少应切取两个互相垂直的截面(图 1)。对于一些形状复杂的零件，例如齿轮之类还需要切取更多数量的平面来检验，以便得到立体的淬火层分布的复杂图形。

在作显微分析时，从零件上切下一小块，此时比较方便的是根据预先制备好的宏观磨片来选择零件上应切取的部位。在有过热或欠热可能的部分，制作显微磨片更有必要。

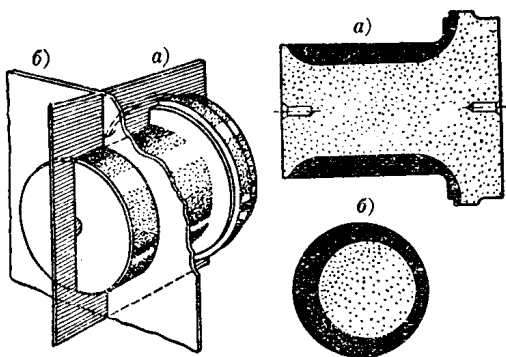


图 1 切割平面的选择方式。从平面 *a* 上可以看到淬火层沿母线的分布状况，从平面 *b* 上可以看到淬火层的偏心率

制作宏观磨片时，首先必须切开零件。在极大多数情况下，是在剖面上而不是在断口上制备宏观磨片。当零件折断时，断口的位置是不一定的，而在高频淬火时为了要测定淬火层的形状，必须使截面通过一定的部位。由于在同一个零件上有淬火部分和未淬火部分，所以使断口的形状成奇形怪状。

切割淬火零件的方法很多，可以根据材料的硬度和现有

的设备来决定。最常用的方法是在磨床上或特殊结构的机床上用薄片砂輪切割,有时也用阳极切割机床。后一种方法是最为完善的①。有时,特别是在切割大型零件时先用气割,然后在机床上将截面上因气割时加热而回火的表面层刨去。

切割零件时应当特别注意,不要破坏金属在淬火过程中所形成的組織,也就是說切割的溫度不要超过 200°C ,并且不能产生很大的力,以免产生裂紋。所以在切割零件时給料要慢,并須施以充分的冷却。

砂輪的顆粒度是极为重要的。例如 $\Phi 60$ 号砂輪②,由于粒度非常細,因此发热就高于粗粒的 $\Phi 46$ 号砂輪。砂輪的硬度也有很大意义。一般都采用中等硬度的 C1 和 C2 型砂輪(在砂輪上有注明)。

在工作中如果不遵照这些規則,就会造成錯誤的結果。在切割过程中所产生的显微裂紋都算做淬火的疵病,同样,回火和再次淬火也算成淬火疵病。因此应当小心指导切割工人。

倘使切割面受到回火,且回火深度有时可达 $2\sim 3$ 毫米,



图 2 滾珠軸承套的显微磨片。暗黑色部分是切割时回火的結果。裂紋也是由于切割方法不恰当而引起的

① 参看 М. К. Алексеев, И. Я. Богорад, Н. Р. Четыркин 合著的“Анодно-механическая обработка металлов”, Лениздат, 1950 年。

② 在砂輪的标号中,字母“Ф”表示它是用电剛玉制成的,而数字則表示砂輪的粒度。

那末表面上将随着不同的受热温度而出现各种回火色。根据这些颜色,可以判断切割的方法对不对(图2)。

如果切割面受热温度超过 200°C 时,那么金属的显微组织就会发生显著的变化,因此分析淬火的结果就不可能。而且切割面受热的温度也可能更高,甚至一直高到淬火温度。在上述情况下,从切割面上很难辨别出回火色来,因为高于 500°C 时呈现的灰色与金属本色很相似。将这样的宏观磨片加以浸蚀,可以看到切割时受高热的部分变黑(图3)。当发现有裂纹而对其原因有怀疑时,应当在零件的断口上制作磨片。如此时未发现裂纹,即可断定是由于切割的方法不对而造成的。

如切割面质量不好(凹凸不平、灼伤、裂纹等等)或在采用阳极机械法切割后有烧熔现象,必须在平面磨床上加以磨平。另外,在需要制备照相用的优质宏观磨片时,或需要测定淬火层不同深度处的硬度时,都必须进行研磨,以保证磨片上下面的严格平行。

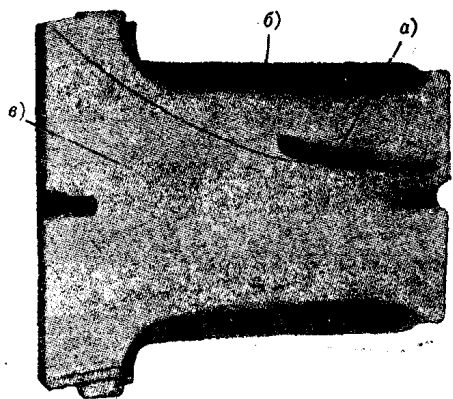


图3 曲轴上某一部分的宏观磨片
a—切割时发生再次淬火的部位; b—淬火层;
c—原材料

研磨时与切割时同样要非常留神,以免产生灼伤、裂纹和其他等等疵病。研磨时产生的裂纹呈特有的细网状,而由于砂轮振摆造成的灼伤在宏观磨片上呈“点线”状(图4)。为了避免灼伤,必须经常修整砂轮。

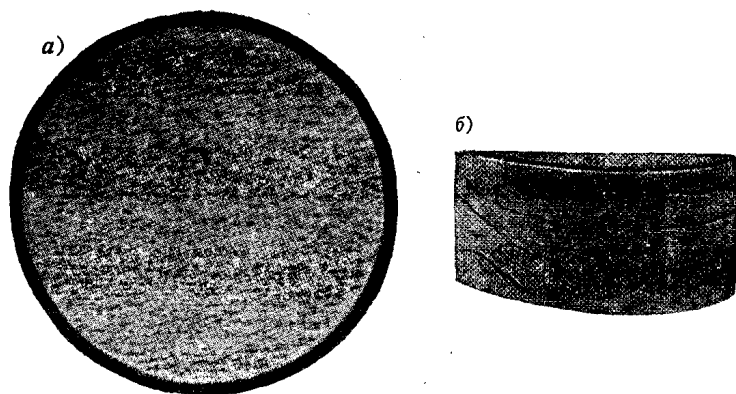


图 4 在机床上研磨时产生的疵病

a—“点线”状； b—网状裂纹

制备显微磨片时，先用砂纸打磨，并逐渐换用号数较小的砂纸，最后在绒布上抛光。抛光时在绒布上倒些用水调和的氧化铝、氧化铬或氧化铁研磨粉，或用国立光学研究所(ГОИ)的研磨膏。然后将磨片用适当的试剂浸蚀^①，置于显微镜下进行检验。在高频淬火时，制备的显微磨片上既要有表面淬火层，又要有过渡区和原金属部分，这一点是很重要的。

第二章 檢驗方法

1. 表面檢驗

高频淬火时加热时间较短，氧化皮来不及形成，所以很薄，只有几微米厚。因此只要仔细检视零件外部，就能得出许

^① 参看 Е. Е. Левин 著的“Микроскопическое исследование металлов”，Машгиз，1955 年。

多重要的結論。

例如，原来光滑的表面变得有些粗糙，这就证明过热得很厉害；根据表面的顏色可能发现輕度的过热或欠热；有斑点、呈灰色且带光泽则表示过热，带青色或甚至黑色的表面表示加热溫度不够。正常的淬火表面很柔滑且呈淡黃带灰色。

而且，淬火以后可能立即在表面上找出裂紋来。較粗的裂紋甚至在表面未清理之前就可肉眼看出；細小的裂紋大多要用放大鏡才能发现，而且表面要經過拋光，甚至要施以專門的浸蝕处理。

在某些情况下，从表面上可以发现局部燒熔現象，或带有一层玫瑰色薄膜的区域。这些迹象表明在加热过程中这些地方发生过感应器与零件之間的电击穿。玫瑰色薄膜是銅的蒸汽凝結在零件表面上形成的。很明显，在这种情况下必須調整感应器和零件之間間隙。

檢驗淬火零件时可以多多采用表面浸蝕的方法，即零件表面在經過研磨和去脂后涂一种特殊溶液(試剂)，結果在零件表面上便現出图形。根据这个图形就可以判断表面上的宏观組織和各种淬火疵病。去脂可以用任何一种已知的方法，例如用酒精、丙酮、純汽油等洗滌表面。

应用得最广的浸蝕方法有以下几种：

(1) 过硫酸銨浸蝕 这种試剂用于显露細小的裂紋。其化学分子式为 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 。

用棉花飽吸 15% 的过硫酸盐溶液后浸潤已制备好的零件表面，時間为 10 分钟。然后用 10% 的硝酸水溶液处理，并用水清洗。为了保护手不受試剂浸蝕，須用鉗子夾取棉花。經濾紙吸干并用热空气将表面吹干后，等 10~15 分钟，随后用放大鏡檢驗表面。此时裂紋就呈黑綫条状。在未淬火金属

的光亮底面上显出深灰色的淬火区。

(2) 25%的硝酸水溶液浸蚀 这种方法用于显露宏观组织。先用酸液浸润金属表面，直至淬火区成暗黑色。然后照例进行表面的清洗和烘干，并用肉眼观察。这种试剂也能显露裂纹。

(3) 3%的硝酸水溶液浸蚀 这种方法是用来显露脱碳区和托氏体斑点(图5)，这些斑点是在淬火过程中由于冷却

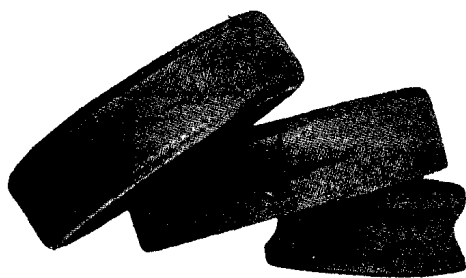


图5 用3%的硝酸水溶液浸蚀后在淬火表面上所显露的屈氏体斑点(图中箭头所指处)

不够急剧而形成的，其硬度较低。浸蚀时在按一般方法制备好的表面上涂以试剂，经过几分钟后，在湿润的表面上便显出暗黑色的托氏体斑点，而脱碳区则在淬火表面的亮灰色底面上呈

现出白色来。在干燥的表面上这些斑点就难以看出来。

上面已经指出，用第一种和第二种试剂浸蚀的目的，是要显露表面上的裂纹；这些裂纹或是发生在淬火过程中，或是发生在随后的机械加工过程中。此外，这些试剂还有另外的功用，就是显露表面上的淬火区，以便能检验它是否符合技术要求。

例如，曲轴轴颈淬火时，对淬火区的厚度和位置都有严格的规定，利用浸蚀法就可以很快地确定淬火区。同时还可以发现颊部是否有经过淬火的迹象，因为颊部如发生淬火会增加以后机械加工的困难。

当一个淬火区叠合在另一个原已淬火的区域上时，在两

个区域的交接部分上即形成所謂回火带,減低了零件的强度。这条回火带也可利用浸蝕方法来显露。

用第一种或第二种試剂浸蝕时,往往在表面上显露出各种图形(图 6)。例如用同时加热法淬火而不轉动零件时,有

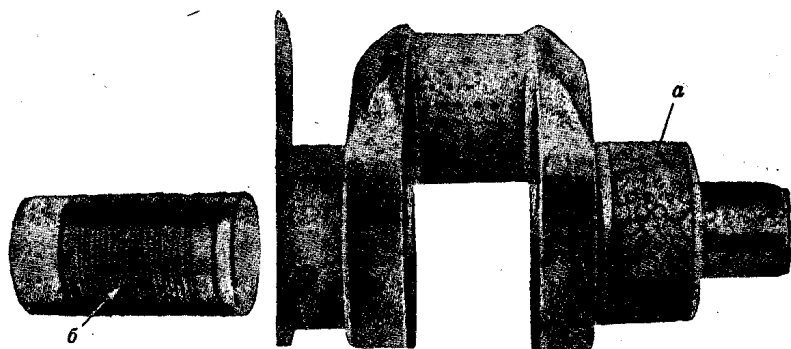


图 6 表面上的浸蝕图形,由于淬火水流的冷却而形成
a—不轉动零件同时淬火时产生的斑点,成模式排列,与感应器
內孔的位置相对应;*b*—轉动零件順序淬火时产生的螺旋状斑紋

时在經過浸蝕的表面上会很清楚地出現黑色的圓斑点。这些圓斑点的分布有一定的規律,与感应器內表面上孔的分布一样。这些圓斑点的形成是由于淬火水流噴射到金属的熾热表面上造成的。

这种斑紋本身并不是不良的征象,但是在这些斑点的中心常常会有显微裂紋(图 7)。虽然这些显微裂紋的长度和深度都很小,以后把零件磨去 0.1~0.2 毫米就可将裂紋完全除去,不过最好还是采取一些措施防止这种裂紋产生,例如減低水的压力,但以不影响硬度为限;也可将淬火用的水預热。采用适当构造的感应器^①,也可以防止产生上面所說的显微裂紋。

^① 參看 A. E. 斯魯霍茨基著的“淬火感应器”,本丛书第 6 册。