

高等学校试用教材

船舶机械制造与修理工艺学

下 册

(船机制造与修理专业用)

武汉水运工程学院
船机工艺教研室编

人民交通出版社

高等学校试用教材

船舶机械制造与修理工艺学

下 册

(船机制造与修理专业用)

武汉水运工程学院
船机工艺教研室编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共六篇，分上下两册。

上册详细阐述了船机制造工艺基本原理、夹具设计原理和方法、各种典型表面加工等问题，并着重介绍了船用中型柴油机的制造和装配工艺，对大型柴油机的装配工艺亦作了概要的论述，同时对电加工、无屑加工、超声波加工和激光加工等新工艺亦作了扼要介绍。

下册按船机修理的拆卸、检查、修理、安装、试验等过程，详细阐述船机零件的损伤原因、探伤方法、基本修复方法、船机拆验及其主要件修理和主机、轴系、舵系在船上的安装工艺、船舶试车等问题。

本书为高等院校“船机制造与修理”专业试用教材，亦可作为船机其它专业的教学参考书，还可供修造船厂、柴油机厂和其它从事船机工艺的技术人员、管理部门和工人以及轮机管理人员阅读。

高等学校试用教材

船舶机械制造与修理工艺学

下 册

(船机制造与修理专业用)

武汉水运工程学院

船机工艺教研室编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：12 字数：294 千

1979年10月 第1版

1979年10月 第1版 第1次印刷

印数：0001—8,000册 定价：1.25元

(本社发行)

前 言

根据交通部高等院校教材工作会议的精神，为加速培养又红又专的高级水运工程科技人才，以适应四个现代化的迫切需要，我院承担编写《船舶机械制造与修理工艺学》一书。

本书是在总结了“船机制造与修理”专业二十多年以来的教学经验，并征求了有关修造船厂、柴油机制造厂、用船与验船部门、科研设计等单位的意见，以及搜集了船机制造与修理中的新工艺、新技术和新成就后编写而成。

全书内容包括：船机制造工艺基础；夹具设计；船机主要零件制造和装配工艺；船机零件的损伤及其基本修复方法；船机拆验和主要件修理；船舶主机、轴系、舵系的安装和试车等六篇，共四十六章。内容广泛，取材新颖，基本反映了我国目前船机制造与修理工艺的状况。同时，对国外在这方面的新工艺、新技术及其发展也作了若干介绍。

本书供高等院校“船机制造与修理”专业教学之用，亦可作为其它有关专业教学的参考书，对于修造船厂、柴油机厂和其它从事船机工艺的技术人员、工人和管理干部也是一本参考读物。

本书由武汉水运工程学院陈震霖、牛求煌、杨和庭、王亭山、肖元德、濮龙根、吴宗荣、金志鸿、孙秉章等编写。并由陈震霖、牛求煌对全书进行了校核与整理。

本书编写中曾得到上海、文冲、广州、新港、沪东、江东船厂和广州、上海柴油机厂等单位的技术人员、工人和干部的热情支持和帮助，在此表示衷心感谢。并对在本书的讨论中提了宝贵意见的同志也在此表示感谢。

由于我们业务水平有限，加之编写时间仓促，因此错误在所难免，热忱欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

第四篇 船机零件的损伤及其基本修复方法

第三十章 船机零件的损伤形式及其修复途径.....	1
§30-1 船机零件的损伤	1
§30-2 船机零件的基本修复方法	5
第三十一章 无损探伤.....	5
§31-1 磁粉探伤	5
§31-2 荧光探伤	9
§31-3 超声波探伤	10
§31-4 其它各种无损探伤方法	14
第三十二章 机械加工修复法.....	16
§32-1 修理尺寸法和尺寸选配法	16
§32-2 附加零件法	19
§32-3 局部更换法	19
第三十三章 金属扣合修复法.....	19
§33-1 概述	19
§33-2 波浪键扣合法	20
§33-3 波浪键-螺钉扣合密封法.....	22
§33-4 加强块扣合法	23
第三十四章 塑料应用.....	24
§34-1 环氧树脂粘结剂	24
§34-2 无机粘结剂	29
§34-3 塑料喷涂工艺	31
第三十五章 电镀工艺.....	34
§35-1 概述	34
§35-2 镀铬	36
§35-3 常温镀铁	44
§35-4 合金镀层	49

第五篇 船机拆验和主要件修理

第三十六章 船机拆验.....	52
§36-1 船用柴油机拆验	52
§36-2 修理方案的分析	55
第三十七章 气缸盖修理.....	57
§37-1 气缸盖裂纹及其修理	57

§37-2 气门座的损伤及其修理	62
第三十八章 气缸套修理	64
§38-1 气缸套的磨损	64
§38-2 气缸套的穴蚀	69
§38-3 气缸套的裂纹	72
§38-4 气缸套的修理	73
第三十九章 活塞修理	75
§39-1 活塞的裂纹和破裂	75
§39-2 活塞顶部的烧蚀	78
§39-3 活塞的磨损	79
§39-4 活塞的修理	81
第四十章 曲轴修理	83
§40-1 轴颈的磨损、擦伤、划痕和腐蚀	83
§40-2 曲轴的弯曲和扭曲	90
§40-3 曲轴的裂纹和折断	94
§40-4 组合式曲轴套合处滑移	96
第四十一章 增压器修理	98
§41-1 增压器的拆卸和清洗	98
§41-2 增压器的缺陷及其修理	99
§41-3 转子的动平衡	104
第四十二章 轴系零件和螺旋桨修理	105
§42-1 尾轴的修理	105
§42-2 尾轴管轴承的修理	112
§42-3 螺旋桨的修理	115

第六篇 船舶主机、轴系、舵系的安装和试车

第四十三章 主机在船上的安装	119
§43-1 概述	119
§43-2 主机定位技术要求	119
§43-3 主机定位前的准备工作	120
§43-4 主机定位	121
§43-5 主机固定	124
第四十四章 轴系拆验及安装	128
§44-1 轴系、螺旋桨的拆验	128
§44-2 轴系理论中线的确定	136
§44-3 按理论中线镗孔	148
§44-4 尾轴管、尾轴、尾轴管密封装置及螺旋桨的安装	153
§44-5 中间轴的安装	161
第四十五章 舵系安装	174

§45-1 舵的结构型式	174
§45-2 普通三支点舵的装配与安装	177
第四十六章 系泊试验与航行试验	179
§46-1 概述	179
§46-2 系泊试验	179
§46-3 航行试验	183
附录 本书常用计量单位与国际单位换算关系	185

第四篇 船机零件的损伤及其 基本修复方法

第三十章 船机零件的损伤形式及其修复途径

§30-1 船机零件的损伤

船舶机器在运转一段时间后, 必须进行调整和修理, 因为部分机器零件遭受了磨损和其它各种形式的损伤, 使机器的工作能力部分或完全丧失。所以, 研究机器零件的磨损和各种损伤原因, 提高其耐磨性, 延长使用寿命, 是一件很重要的工作。

一、零件损伤的形式

零件的损伤形式主要有磨损、机械损伤和化学-热损伤三种。

1. 磨损

机器零件在工作过程中相互摩擦, 工作表面发生了形状、尺寸和表面质量的变化, 这种变化称为磨损。

零件的磨损大多数是不均匀的, 这是因为零件所受的载荷经常是变动的, 而且具有冲击性。例如, 曲柄销承受连杆传来的反复变动并带冲击性载荷的作用, 磨损成椭圆形。

零件的摩擦和磨损是一个复杂的问题, 到目前为止, 有关摩擦和磨损的理论很多, 尚无统一认识。这是因为零件在相互摩擦时, 受着物理、化学和机械等因素的综合复杂的影响, 而研究方法和设备又不统一, 故结论各异。

要减少零件的磨损, 应了解和研究零件的摩擦情况、磨损过程和磨损类型, 才能有的放矢, 采取合理措施。

1) 摩擦。机器零件的磨损, 起因于零件的相互摩擦, 因此要了解零件磨损的过程, 首先要研究零件的摩擦情况。

人类在很久以前就知道摩擦, 并且学会了利用摩擦的有用部分为人们服务, 例如刹车。但在极大多数情况下, 摩擦是有害的, 如汽车发动机在满负荷运转时, 消耗在摩擦方面的功率将近 20% 左右。但是摩擦的主要危害, 还不在于为了克服摩擦力必须消耗一部分功率, 而是因摩擦作用使零件工作表面遭受磨损而不得不进行修理或换新。

零件表面的摩擦形式可分为六种:

(1) 纯摩擦。零件表面完全没有吸附层或化合物时的摩擦, 这种摩擦只有当塑性变形较大、金属露出纯净的表面时才能形成。

(2) 干摩擦。摩擦表面没有润滑油膜时的摩擦, 如火车车轮和铁轨的摩擦。干摩擦的摩擦系数较大, 磨损也较剧烈。

(3) 界限摩擦。摩擦表面间存在着极薄的油膜, 其厚度只有 0.1 微米左右, 由于润滑油

膜的存在,对降低磨损起很大作用。

(4)液摩擦。摩擦表面完全被润滑油所隔开,在这种状况下,摩擦发生在润滑油的内部,属于内摩擦范围,故磨损最小。在船舶机器中,液摩擦的情况是很难存在的。

(5)半干摩擦。指同时存在着界限摩擦和干摩擦时的摩擦。

(6)半液体摩擦。指液体摩擦和界限摩擦同时存在的摩擦。

根据以上六种摩擦情况来看,不同的摩擦其磨损的结果也不同,液摩擦时磨损最小,干摩擦时最大。解决机器的具体磨损时,首先要搞清楚它们的摩擦情况,才能采取正确的措施。

2)机器零件的磨损过程和磨损曲线:

(1)磨损过程。有关零件摩擦表面发生磨损的理论很多,现介绍一种供参考。某些学者认为零件摩擦表面产生磨损的过程大约可划分为三个阶段:

①摩擦表面的相互作用;

②摩擦表面层发生变化;

③摩擦表面层被破坏。

摩擦表面在相对移动时产生机械性的相互作用——嵌入,和分子的相互作用——吸引与粘结。

机器零件的工作表面都是高低不平的,凸起部分会相互嵌入。当摩擦时,由于嵌入的深度不同,相互接触的部分就有不同的变形,嵌入浅的,产生弹性变形;嵌入深的,产生塑性变形,严重的造成擦伤和脱落。多次的弹性和塑性变形,逐渐改变了零件表面层原有的性质,如变脆硬,产生疲劳裂纹等使表面破坏。

当零件表面承受较大压力时,如接触面间没有其它介质或氧化膜等存在,则两表面层金属分子间相互吸引力很大,分子间扩散溶合在一起发生粘结。两表面相互移动时,若粘结部分的强度小于基体金属的强度,则在粘结处发生破坏;若粘结处强度大于基体金属强度,则表面层金属被撕裂,粘结部分脱离了零件表面。

摩擦生热是人所共知。金属塑性变形时,亦要产生热,所以,摩擦表面层的温度和零件基体金属温度相差很大,特别是表面层塑性变形处温度更高。当温度高于再结晶温度时,因变形而引起的表面强化现象将消失。若温度更高时,接触处金属被软化,促进金属分子间的渗透和粘结。若接触处温度升高到相变温度并瞬时冷却,则引起淬火。接触处金属发生相变,改变了金相组织、强度和硬度,产生内应力,由此可出现显微裂纹,破坏了表面层。

摩擦过程中,摩擦表面还与周围介质起相互作用,例如和空气中的氧作用形成氧化物薄膜,它和基体金属的结合力较弱,所以容易从表面脱落。当在高温或塑性变形时,氧还可以向金属表层内部扩散,造成内应力,使金属具有脆硬性。除空气中的氧外,空气中的水分、润滑油中的酸和杂质,均能与零件表面层起化学反应,产生新的化合物,腐蚀表面、加剧磨损。

(2)磨损曲线。机器零件在运行过程中,磨损的变化有一定规律,现举一对配合零件的磨损状态曲线来说明。图30-1所示为配合零件的磨损曲线,纵座标表示配合件的磨损量,横座标表示工作时间。

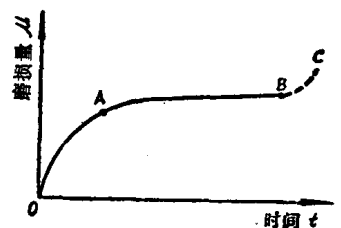


图30-1 磨损曲线

由图可知磨损曲线有三个不同区域,分别表示三个不同的工作阶段。在磨损开始的第一阶段OA,零件磨损特别快;在第二阶段AB,磨损速度缓慢;自B点以后进入第三阶段,磨损量急剧上升。

第一阶段OA,为零件磨合时期。零件工作表面在机械加工后,总留有高低不平的加工

痕迹、表面凸起部分，影响润滑油膜和承载能力。表面层实际的接触面积小，接触部分的压力增大，容易产生塑性变形，使温度增高，减弱甚至失去润滑作用，故容易发生金属粘结。所以磨合时期的零件工作表面磨损特别快，温度亦很高，要特别小心。在运行时，速度、载荷应小，润滑油要多，使工作表面获得较好的润滑和冷却，并能将磨屑带走，减少摩擦面间的磨粒。磨合时间的长短，要视机器的修造和装配质量、零件的表面光洁度和润滑条件等因素而定。

第二阶段 AB ，表示磨损速度趋于稳定缓慢状态，零件工作表面已较光滑，可以承受较大的载荷和较高的速度，此时已进入正常的运行时期。

自 B 点以后开始第三阶段，磨损量急剧上升，温度升高，运动部件的间隙超过极限标准。此时机器应停止运行，进行检修，否则不仅磨损量大大增加，且可导致严重事故。管理人员要及时采取措施，注意发生急剧磨损阶段，防止产生事故。

3) 磨损的形式。机器零件的磨损要不要分成不同类型，可以分成那几种类型，观点各不相同，根据某些专家的意见，认为可以分成下列五种不同类型。

(1) 粘结磨损。机器零件相互摩擦，当速度较小、压力较大时，实际接触处的压应力超过零件材料的屈服极限。由于接触处的间距等于原子晶粒的大小，表面层发生强烈塑性变形，露出了纯净的金属表面(表面上没有任何化合物)。金属分子相互吸引，结合在一起，形成金属表面层间的粘结。零件相互移动，粘结处遭破坏，产生粘结磨损。

金属接触处产生粘结，主要和接触处金属的性能，即产生金属氧化物的能力大小关系最大。同一金属，纯金属和具有互溶性的金属作摩擦副时，容易产生粘结磨损。如果接触面间有氧化物或其它介质存在，则可大大削弱金属粘结。

粘结磨损常易发生，它对表面的破坏也最厉害，应尽量避免。

(2) 氧化磨损。零件的摩擦表面与空气中的氧生成氧化物，依附在工作表面层上。由于氧化物和金属间的结合强度较小，摩擦时较易从零件表面层脱落，形成氧化磨损。

当零件表面层有较小的塑性变形时，氧除了和金属表面氧化成氧化物外，还能渗透至塑性变形的金属中，形成固溶体，加快塑性变形的发展。

滑动和滚动摩擦均可产生氧化磨损。在干摩擦和界限摩擦时，氧化磨损可以成为主要的一种磨损形式。在实际工作中，机器零件容易产生氧化磨损，其磨损量较小。表面层存在氧化物时，可以大大减少严重的粘结磨损。

(3) 热磨损。机器零件摩擦时，表面层产生热；表面层发生塑性变形时，亦要放出不少的热。因此在接触表面的塑性变形处，温度上升很快。这种瞬时的大量热，可使接触处温度超过 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，最高甚至可熔化表面层金属。高温可使润滑油失去作用，使金属处于热塑性状态，产生金属间的连接，破坏表面层，形成热磨损。

滑动速度和载荷均影响表面层的温度。热磨损时表面层部分接触处发生金相组织的变化，其变化的深度一般在 $0.005\sim 0.008$ 毫米范围内。

(4) 磨粒磨损。零件的摩擦面间存在磨粒时，它能使表面层产生部分塑性变形，擦伤和切割表面层，形成磨粒磨损。磨粒磨损的速度和磨粒的形状、大小、性质，金属摩擦面的性质，滑动速度及压力等关系较大，而与温度关系较小。

如果在磨粒磨损时，磨粒使表面层产生塑性变形，则将发生金属氧化现象，这种氧化磨损速度很快。因塑性变形促进氧化作用，在表面产生氧化物，这种氧化物容易被磨粒所磨掉。

(5)疲劳磨损。滚动和滑动摩擦时,在力的作用下,表面层产生挤压应力和切应力,其值可达100~150公斤/毫米²(1公斤/毫米²=9.807牛/毫米²)^{*};机械加工后,表面层存在着加工残余应力(如不良的磨削加工),可达150~200公斤/毫米²;表面层发生塑性变形时,应力亦可达200公斤/毫米²。在这些应力的作用下,出现显微裂纹、裂纹等破坏了表面层,形成疲劳磨损。

表面层接触处的压力、交变载荷的频率、零件材料的机械性能等均对疲劳磨损有较大的影响。表面层塑性变形的程度,决定了疲劳磨损发展的速度;塑性变形的深度,决定了裂纹的深度。零件表面层的塑性变形,使表面层内单位体积增大,产生了残余应力,促使疲劳开始阶段的发展。交变载荷的作用,使表面处于应力状态,与表面成30°角金属平面内切应力的发展,引起金属疲劳裂纹。所以,最早的裂纹,通常位于和摩擦表面成30°角之处。裂纹的发展与金属腐蚀现象引起的应力集中及润滑油压力的破坏作用密切相关。

2.机械损伤

零件的机械损伤形式有断裂、弯曲、扭曲、脱皮、凹槽等。

断裂、弯曲和扭曲是由于零件所受的应力超过许用值而造成的。例如零件在过载荷下工作,或受到较大的冲击载荷,造成零件的断裂;活塞咬缸使曲轴弯曲和扭曲;柴油机长期超载荷工作也会使曲轴扭曲。

脱皮大多发生在渗炭零件和有镀层零件的工作表面上,其产生原因主要是受冲击载荷的影响,例如活塞销表面脱皮。

凹槽是两零件配合位置不当,相对运动时发生刮擦所致,例如浮动活塞销伸出活塞销孔外,在气缸壁上刮出凹槽等。

3.化学-热损伤

零件的化学-热损伤是由于化学-热的作用而产生的,主要表现形式有:变形、碎裂、腐蚀等。

零件的温度过高产生热变形,但因厚度不均,或受相连零件的牵制,变形不均匀,或零件各部分受热不均匀,使零件局部产生过大应力,造成碎裂等现象。例如气缸盖裂纹和气缸套上的衬垫碎裂等。

零件的腐蚀主要是燃烧产物生成的各种酸,对周围零件产生腐蚀作用。润滑油在润滑过程中亦会氧化产生有机酸等,对有关零件产生腐蚀。与冷却水接触的表面亦要发生电化学腐蚀。

二、延长零件使用寿命的途径

机器零件在工作过程中发生磨损,这是必然会产生的结果,但若采取合理措施,可以延缓磨损速度,提高零件使用寿命。延长零件的使用寿命途径很多,采取那一种方法收效最大,必须首先对影响零件磨损的因素进行具体分析,研究零件的磨损形式,那一种占主导地位。一般可从零件的结构和设计、摩擦副材料的选用、零件的加工工艺、表面质量和机器装配质量、润滑方法和润滑剂、机器零件的工作条件等方面去考虑,然后决定是否采用表面处理工艺。采用表面处理工艺提高船用机器零件使用寿命的方法很多,大致有下列几种:

1)冷作硬化工艺。滚压零件表面,使产生塑性变形,提高表面硬度和耐磨性,例如曲轴轴颈的滚压。

2)表面淬火和化学热处理工艺。此类工艺甚多,如表面火焰淬火、高频表面处理、渗碳、

* 常用计量单位与国际单位换算关系见附录,以下同。

气体软氮化、离子氮化、渗硫、渗硼等。

3)零件工作表面复盖耐磨层工艺。此类工艺主要分两种:堆焊和喷镀工艺。根据需要,可将各种不同的耐磨材料熔焊或喷镀到工作表面。

4)表面镀层工艺。采用电镀方法,在零件表面镀复各种不同耐磨物质,如镀铬、镀铁等。

§30-2 船机零件的基本修复方法

船舶机器在工作过程中产生的损伤大部分是磨损,对磨损零件的修复方法,按其性质来说有两类方法:

1)改变零件的原始尺寸,并恢复其原有配合性质。例如曲轴主轴颈磨损,轴颈与轴瓦间的间隙过大,此时可将轴颈光车,消除其椭圆度及不柱度,轴瓦换新,保证间隙在允许范围内。此法简便可靠,在修船中得到广泛应用,其缺点是必须更换相配零件,同时也大大地限制了修理工作中零件的互换性,给配件的供应工作及组织工作带来了许多困难。为解决这一问题,可采用分级修理法。关于分级修理法见 §32-1。

2)恢复零件的原始尺寸和原有配合性质。这种方法是修复磨损配合件较完善的方法。

具体的修复方法有如下几种:

(1)机械加工修复法;(2)电镀修复法;(3)堆焊修复法;(4)轴承合金重新浇铸法。

3)对机械损伤零件的修复,主要是恢复其完整性和机械强度,具体的修复方法有如下几种:

(1)焊接修复法;(2)金属扣合修复法;(3)塑料粘合修复法;(4)轴承合金重新浇铸法。

4)对于弯曲,扭曲了的零件,在规范允许的情况下,可采用热校正或压力加工校正修理。

5)对化学—热损伤的零件,一般采用:

(1)机械加工修复;(2)塑料焊补;(3)焊补修复。

上述损伤零件的各种修复方法中,焊接(包括堆焊和焊补)、轴承合金浇铸,在金属材料及热加工中已经讲述过了。余下的机械加工修复法,金属扣合修复法和塑料粘合及修补,电镀等内容将分述于后。

第三十一章 无损探伤

无损探伤就是借助于物质的各种效应(如电磁、压电等),不损伤零件,而检查出零件表面或内部的缺陷(如裂纹、夹渣和气孔等)的位置、大小、性质等的方法。无损探伤的方法较多,而且都在生产实践中获得广泛应用。现仅将在船机修造中常用的几种无损探伤方法分别介绍如下。

§31-1 磁粉探伤

一、磁粉探伤的原理和特点

1.磁粉探伤的原理

磁粉探伤的原理是因为铁磁性材料(如铁、碳素钢和某些合金钢等)的导磁率比其它材料的导磁率大,所以如果铁磁性材料的零件存在有裂纹、气孔和夹渣等缺陷时,当零件被磁化后,由于缺陷处的导磁率小即磁阻大,会使磁力线产生弯曲和密集现象。当缺陷在零件表面或近表面时,则磁力线不但会在零件中产生弯曲,而且一部分磁力线还会绕过缺陷暴露在空气中,这种漏磁就在零件表面上产生一对 S 、 N 极的局部磁场,如图 31-1 a) 所示。如果撒上磁铁粉,局部磁场的磁极便吸附磁铁粉而显示出缺陷的形状、大小和位置。图 31-1 b) 为零件缺陷部分漏磁的局部放大图。

2. 磁粉探伤的特点

由上述原理可知磁粉探伤只适用于铁磁性金属零件表面或近表面的缺陷检查。因为零件内部的缺陷虽然也会使磁力线密集,但对表面影响太小,无法吸附表面的磁铁粉。磁粉探伤只能检查出与磁力线垂直或成一定角度的缺陷,如果缺陷细小且与磁力线平行或所成的夹角太小,磁力线的密集或漏磁现象较弱,也很难吸附表面的磁铁粉而显示出缺陷。因此要准确地检查出零件的缺陷,必须正确地选择磁化电流的大小和磁化方法。

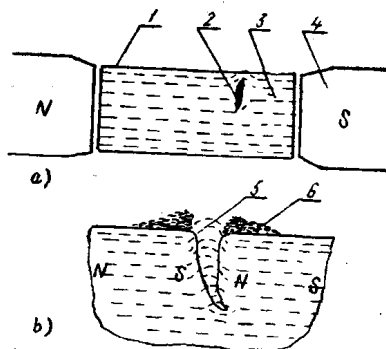


图31-1 磁粉探伤原理图

1-零件; 2-缺陷; 3-磁力线; 4-电磁铁; 5-漏磁; 6-磁铁粉

二、各种磁化方法

磁粉探伤时,零件磁化方法有以下三种:纵向磁化、周向磁化和综合磁化。

1. 纵向磁化

纵向磁化是指零件磁化后,所产生的磁力线方向与零件纵长方向或轴线方向一致的磁化方法。

它适用于检查零件圆周方向和垂直于轴线或与轴线成一定角度的缺陷。纵向磁化时,可使用交流电或直流电,通过线圈(图 31-2 b)或铁轭(图 31-2 a)方式来实现。图中 a) 为铁轭磁化法,此法适用于中型零件的探伤,铁轭是用导磁良好的材料制成。图中 b) 为线圈开端磁化法,此法适用于较长的轴形零件的探伤,其优点是设备简单,只要在被检查零件上绕以数圈导线就可以使零件达到磁化目的。图中 c) 为线圈闭端磁化法,此法除在被检查零件表面上绕以线圈外,还将铁轭与零件两端相接触,铁轭的作用是加强电磁感应和改善零件两端磁化情况。

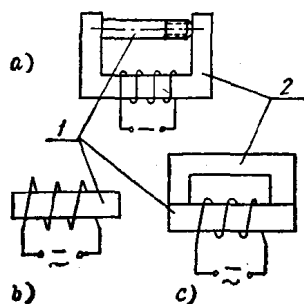


图31-2 纵向磁化示意图

1-零件; 2-铁轭

况。提高灵敏度。

2. 周向磁化

周向磁化与纵向磁化相反,零件磁化后,磁力线方向是圆周方向的、或者是与零件轴线方向垂直的磁化方法。所以它适用于检查轴向的缺陷。图 31-3 为周向磁化示意图,图中 a) 所示为周向磁化探伤原理,图中 b) 所示为轴形零件的周向磁化,图中 c) 为管件的周向磁化。图 31-4 所示曲轴的磁粉探伤也是属于这种磁化,它是采用被检查零件直接通上电流的方式来实现的。

3. 综合磁化

纵向磁化和周向磁化同时使用称为综合磁化,如图 31-5 所示。由图中可看出它和前述

的铁轭纵向磁化法的原理大致相同，不过在铁轭中部嵌入一层不导电的绝缘体(其磁阻不宜太大，以免降低磁轭的导磁效能)。在被绝缘体隔开的铁轭两个半体上，接上大电流降压变

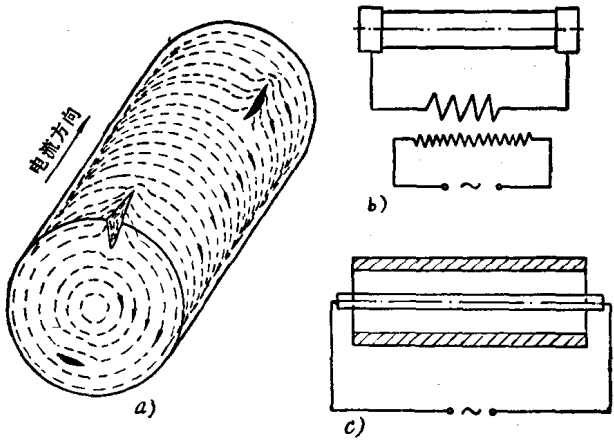


图31-3 周向磁化示意图

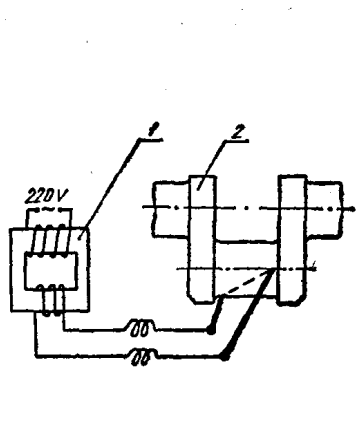


图31-4 曲轴局部磁化检查示意图
1-变压器；2-曲轴

压器的二次电流，这样就使铁轭不但可以在零件中造成纵向磁化，而且还可以使电流导入零件，使其又被周向磁化。如果在这两个磁场中有一个是用交流电造成的交变磁场的话，那么由于两个磁场的强度不同，而得到的实际磁场就会以一个相当大的角度，在零件纵轴上往复摆动，这样，就可以将任何方向上的缺陷同时显现出来。

一般固定式磁粉探伤机都可以分别进行纵向磁化、周向磁化和综合磁化。

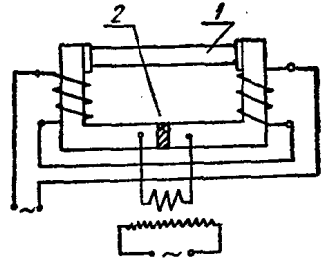


图31-5 综合磁化示意图
1-零件；2-绝缘体

三、磁粉探伤的磁化电流

磁粉探伤中使用的磁化电流有交流电和直流电两种。为了获得强力的磁场和确保安全，应采用低电压大电流。

交流电应用较广，因为其来源方便，设备简单，只需降压变压器。但它有集肤效应，所产生的磁力线都集中在零件表面。不易检查出零件表面下深处的缺陷。一般只能发现离零件表面1~1.5毫米深处的缺陷。

直流电磁化时，不仅可以检查出表面缺陷，而且可以检查出离表面较深的缺陷。这是因为直流电无集肤效应，因此产生的磁力线在零件的截面上是均匀的。它一般可以发现距表面3~4毫米深处的缺陷，最大可以发现距表面6~7毫米深处的缺陷。

在综合磁化时，纵向磁化和周向磁化的电流应该是一个为交流，另一个为直流，才能获得良好的效果。

目前常用的通电方式分为连续式和冲击式两种。

连续式是在检查过程中，一直通以电流。这种方法所需的磁化电流小，灵敏度较高。船厂中应用较广。

冲击式是以大电流在短时间内将零件磁化，断电后，利用剩磁进行检查的，故又称为剩磁法。这种方法比较方便，它适用于剩磁性(或顽磁性)强的金属材料的零件。

磁化电流的大小对探伤的灵敏度起着决定性的作用。电流过大会将一些金属纤维、划痕等非缺陷都显露出来，同时磁铁粉将不均匀的沉积在磁化零件的整个表面上，难于鉴别真实缺陷；电流过小则又不能完全显现出缺陷。因此，磁化电流的大小必须选择恰当。磁化电流大小的选择与零件大小、形状，磁化时通电的方式都有很大的关系。周向磁化电流的选择如表31-1所列。纵向磁化电流强度一般是周向磁化的70~85%，视零件的复杂情况而定。

周向磁化电流的选择

表31-1

规范名称	适用零件	通电方式	电流强度 (安培)	
			圆柱形	板形
较严规范	高速运动、弯曲冲击交变负荷及其它高负荷零件	冲击	(25~30)D	20S
		连续	(10~15)D	10S
较宽规范	其它零件	冲击	(20~25)D	15S
		连续	(6~10)D	7S

注：表中D为圆柱形零件直径，毫米；S为与电流方向垂直的板形零件宽度，毫米。

四、磁粉探伤注意的问题

为了不破坏被检查零件的表面质量和提高探伤的灵敏度，在工作中，应注意以下几点：

1. 零件外形

被检查零件的外形对磁粉探伤的灵敏度有很大的影响。如果将直径均匀的轴类零件作纵向磁化时，轴的两端与中部电磁感应相差很大，要在轴的中部发现同样大小的缺陷，所需的电流要比在轴的两端大10倍以上。因此对很长的轴类零件应进行逐段磁化检查。

对外形不整齐的零件，磁化时磁力线分布不均匀。所以在检查曲轴的纵向裂纹时，除应用强大的电流作周向磁化外，还应分段进行磁化，以免缺陷漏掉，如图31-4所示。

2. 磁铁粉的质量

质量好的磁铁粉显现缺陷的灵敏性好。要选用经过充分氧化、导磁率高的高价氧化铁，且颗粒细小均匀(直径约0.2~1微米左右)，颜色明显，不应有非磁性氧化铁或其它杂质。一般选用黄褐色的四氧化三铁(Fe_3O_4)粉末。可用干磁粉，也可用煤油混合的湿磁粉。

3. 零件装夹

装夹零件或零件接线时，要牢固，不能有松动。否则，在通入电流时要产生电弧，烧坏接触表面。故零件装夹或接线时，尽可能与零件的非工作表面接触，或垫上铅块，以免烧坏接触表面。

4. 退磁

凡是经过磁粉探伤后的零件都有剩磁，必须退磁处理，否则会造成不良影响。如曲轴经磁粉探伤后没有进行退磁，则会吸附铁屑，加剧轴颈及轴瓦的磨损。对探伤后还须进行热处理的零件，则不必进行退磁，因为零件被加热到一定温度后，剩磁便会消失。

退磁的简单方法，是将零件慢慢地从通有交流电的螺旋线圈中抽出；或者逐渐地减小直接通过零件的交流电至零为止。但是采用交流电退磁仅在零件表面有效，因此，对用直流电磁化的零件需用直流电退磁，方法是不断改变电流的极性，同时将电流逐渐减小到零。最后看其是否能吸附磁铁粉来判断退磁处理的好坏。

§31-2 荧光探伤

一、荧光探伤的原理及特点

1. 荧光探伤的原理

荧光探伤就是利用水银石英灯所发出的紫外线来激发发光物质，使发光物质产生一种荧光，而借助这种荧光检查出零件的缺陷。

将发光物质如荧光粉等与具有很强渗透力的油液，如松节油、煤油等按一定比例混合，涂在零件表面，使其渗入零件表面缺陷内，待一定时间后，将零件表面擦干净，再涂以显像剂，将渗入缺陷里的荧光液吸附出来，此时将零件放在紫外线下照射，便能使吸附出来的荧光物质发光，缺陷就被发现。图 31-6 所示为荧光探伤法的示意图。

2. 荧光探伤的特点

荧光探伤属于表面探伤，它不仅能检查磁性金属零件的表面缺陷，而且也能检查出非磁性金属和非金属零件的表面缺陷，如不锈钢、铜、铝、塑料等。对铝活塞、增压器叶片、轴瓦等就经常采用荧光探伤法来检查其表面缺陷。荧光探伤的灵敏度比磁粉探伤高，可以发现磁粉探伤所不能发现的很细小的裂纹，与磁粉探伤结合使用，效果更好，即在磁性悬浮液中加入 0.2%（按容量计）的荧光剂，当零件磁化并喷上荧光性悬浮液后，先用锯木屑干燥，放置一小时后，在紫外线光下进行检查。

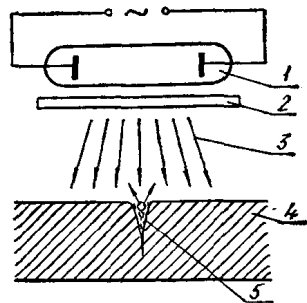


图 31-6 荧光探伤法示意图
1-紫外线光源；2-透过紫外线和阻止可见光的滤光片；3-紫外线；4-被检查零件；5-充满荧光物质的缺陷

二、荧光探伤仪的结构原理及探伤步骤

1. 荧光探伤仪的结构原理

荧光探伤仪的结构主要为水银石英灯和电容、电感线路，通电后水银石英发出紫外线光，激发零件上的发光物质发出荧光而检查出零件的缺陷。图 31-7 所示为荧光探伤仪线路原理图。

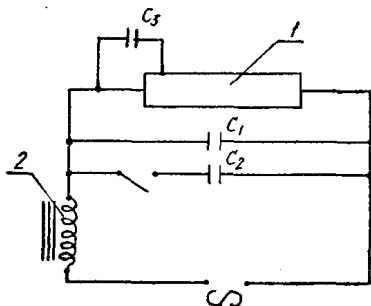


图 31-7 荧光探伤仪线路原理图
1-水银石英灯管；2-扼流线圈

2. 荧光探伤的步骤

- 1) 零件在检查之前应清除污垢和油迹；
- 2) 在零件表面涂以荧光液，搁置一段时间，使荧光液充分渗透到零件表面的缺陷内；
- 3) 去除零件表面的荧光液，可采用微流的清水洗涤或用布将零件表面擦干净，也可用乳化剂涂于零件表面，再用微流的清水冲洗净，并用布擦拭，加速去除乳化剂；
- 4) 零件表面涂一层显像剂；
- 5) 在水银石英灯下观察零件。打开水银石英灯，等 15 分钟左右待灯点稳定后，将零件置于灯光下，由于荧光液及显像剂的作用，便在缺陷处出现强烈的荧光。根据发光程度之不同，就可判断缺陷的大小。

三、荧光物质和显像剂的选择

荧光探伤的灵敏度与荧光物质及显像剂的选择有很大关系，如果选择不当会影响检查的

效果。

1.选择荧光物质时，必须注意下列几个方面

1)发光性要好。发光愈强者发现缺陷也愈清晰，探伤灵敏度愈高；

2)渗透性要强。要想发现极微小的缺陷，必须采用高渗透性的油液，以使荧光液渗入缺陷内部；

3)要容易被洗净。否则会造成零件表面残留荧光物质过多，照射检查时造成混乱。

表 31-2 列出几种常用的液体荧光物质。

液体荧光物质发光情况

表31-2

荧光物质成分	发光颜色	发光波长最大波段值(埃)
煤油	浅兰色	4000~2400
矿物油	浅兰色	4000~2400
航空汽油25%、煤油25%、变压器油50%	浅兰色	/
航空汽油25%、石油25%、煤油50%	浅兰色	约4500
变压器油或高级机油与煤油比为1:2或1:3 再加上鱼油5%	鲜明天兰色	约5000
变压器油或高级机油与煤油比1:3，再加上鱼油5%，葱油5%。	玫瑰色	约6000

2.选择显像剂时必须满足下列要求

1)应有良好的吸附作用，以易于将渗入缺陷内的荧光液吸至表面；

2)容易清洗，对被探伤工件无腐蚀作用；

3)应是非荧光物质，以利于与荧光液之区别和便于观察；

4)对人体无害。

在荧光探伤中一般使用的显像剂有氧化镁粉、碳酸镁粉、石英粉、滑石粉等。目前氧化镁粉应用较为普遍。

§31-3 超声波探伤

一、超声波探伤的原理、特点和方法

1.超声波探伤的原理

利用某些晶体(如石英，钛酸钡、锆钛酸铅等)的压电效应，在晶体的电轴方向加上交变电压，在交变电压作用下，晶体发生拉伸和压缩变形，即发生振动，产生超声波；反之，当晶体在外来机械力作用下而发生拉伸和压缩变形时，晶体表面产生异号电荷，在电轴方向形成交变电压。由此可见，压电效应是可逆的。无论压电效应是正或反。振动频率与电频率相同，由于机械能和电能的相互转换，就为超声波探伤提供了可能。

超声波探伤的原理是利用超声波通过两种介质的接触界面时，超声波发生折射和反射现象来发现零件内部的缺陷。当超声波由空气传向金属或由金属传向空气时，差不多有99%被反射。零件中的缺陷一般都是中空的，即在缺陷的地方存在着金属和空气的界面，根据上述原理通过指示仪器即可发现缺陷。