

139988

工业无损探伤法

于 在 兹 編

2
48

科学技術出版社

工业无损探伤法

于在兹 编

科学技术出版社

內 容 提 要

这是一本專門介紹近代无损探伤法的参考書。内容包括三种最常用的无损探伤法——磁力探伤法、超声波探伤法和 X 光探伤法的基本原理和实际操作,并根据各国出品的探伤設備作了一些說明。

書內还比較系統地介紹了 X 光防護的标准和計算方法,并引用了几个典型的例子加以說明。

本書可供工程技術人員参考之用。

工 业 无 損 探 伤 法

編 者 于 在 茲

*

科学技術出版社出版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

信誠印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号: 15119·600

开本 787×1092 耗 1/27·印張 5 25/27·字數 118,000

1957年12月第 1 版

1957年12月第 1 次印刷 印數 1—2,200

定价: (10) 0.95 元

目 录

第一章 緒論	1
第二章 磁力探伤法	5
一、磁力探伤法的基本原理.....	5
二、縱向磁化法.....	6
三、周向磁化法.....	11
四、联合磁化法.....	16
五、磁化电流.....	18
六、磁力探伤机及其应用.....	19
七、磁粉及磁粉油液.....	30
八、磁力探伤的檢疵灵敏 度.....	35
九、退磁.....	37
第三章 超音波探伤法	40
一、超音波的性質.....	40
二、超音波的产生及压电 效应.....	46
三、超音波探伤法的基本 原理及分类.....	49
四、超音波穿透探伤法.....	50
五、超音波反射探伤法.....	60
六、超音波橫波探伤法.....	68
七、超音波透視探伤法.....	73
第四章 X光探伤法	81
一、X光之产生.....	81
二、X光的基本特性.....	89
三、X光照相探伤法.....	92
四、X光透視探伤法.....	114
五、特种干板照相探伤法.....	117
第五章 X光之防护	124
一、X光的生理作用及对 人体的伤害性.....	124
二、最高容許感染剂量及 感染剂量率.....	126
三、X光防护措施.....	127
四、X光一次射綫防护計 算.....	127
五、X光散乱射綫的防护 計算.....	132
六、X光防护材料及其选	

擇.....	134	八、X光探伤实验室的布	
七、X光防护设备.....	141	置及防护实例.....	144
附录.....			148
参考文献.....			151

第一章 緒 論

在近代化的机器制造业中，材料試驗占有极其重要的地位。要充分保證及提高产品质量，就应该在本企业中从原材料起直到产品为止都执行严格的檢驗制度，使产品在运转时不会发生故障；同时，系統完整的材料試驗对工艺过程的维护与改进以及降低返工率也有其实际意义。

企业的产品——尤其是那些在使用时承荷很大或运转速度极高的重要零件，都应该受到構造完整性的控制。在机器制造技术高度发展的今天，必須用很多結構精微的零件来代替过去所設計的既笨重而又浪費材料的零件，这就不但要求准确无誤的計算，而且更加需要保證零件在構造上的絕對完整。往往因零件內部在加工时发生一些小的缺陷，会因此而引起重大的事故及損失。同时，在企业內部的加工过程中，能适当地在某一道工序上及时发现有严重缺陷的零件，就可以节省很多加工劳动量。

很久以前，工厂为了控制單項工艺（例如鑄造、热处理等）的可靠性，不得不从半成品中选择一些有代表性的零件在不同部位上锯开加以檢查。这种方法既不能全面地掌握工艺及大量檢驗零件，而且还往往損坏一些毫无問題的半成品。因此，既不損坏零件而又能保證质量的檢查方法便显得更为重要了。

要达到檢查零件構造完整性而又不損坏零件的目的，就必須采用不破坏材料試驗法——无損探伤法。

近代化的无損探伤种类很多，其中效率最高应用最广的是磁力（磁粉）探伤法、超音波探伤法、X光及 γ 射綫探伤法。

磁力探伤法用来检查磁性材料制成的零件,可以发现零件表面或接近表面的缺陷,例如裂缝、夹渣等,但是深离零件表面的缺陷就很难利用磁力探伤法检查出来;但尽管有此限制,磁力探伤法在机器制造工业中仍然应用最广,主要是因为零件表面裂缝大半都是最致命的缺陷的缘故,而且在热加工(例如淬火等)过程中最易产生这种缺陷;同时,磁力探伤法操作方便迅速,设备比较简单,其中有一些可以由工厂实验室或技术检查科根据产品的特性自行制造。

1929年,苏联运输电工研究所的工程师 A. H. 馬特維也夫^①及 A. H. 柯列斯尼可夫^②二人为检查铁道車輛輪軸的軸頸橫向裂缝而设计了世界上第一台携带式直流电磁力探伤机,此一实验结果在1931年载于文献之后,其他工业发达的国家也开始利用磁力探伤法检查零件。

1931年,该研究所的工程师 A. B. 达尼茨克^③和 И. И. 保哥日夫^④等又继续以更深入的研究;与此同时,莫斯科大林汽车制造厂、“电力”工厂以及其他先进企业也广泛地采用磁力探伤法来鉴定产品质量。自此之后,磁力探伤法得以不断改进应归功于苏联 Н. С. 阿庫洛夫教授^⑤领导下的国立莫斯科大学物理系磁学实验室、中央机器制造及工艺科学研究院 (ЦНИИТ МАШ) 以及苏联科学院烏拉尔分院的研究工作者的不懈努力。

在磁力探伤法的理论及实践方面,苏联 B. K. 阿尔卡特也夫^⑥院士、Р. И. 雅魯斯^⑦教授以及研究员 М. В. 捷赫佳尔^⑧等人都作出了极有价值的贡献。

超音波探伤法在我国虽仅有两三年的历史,但和其他工业先进国家一样,我国的工程界对超音波探伤法也已有了很高的估价。

① А. Н. Матвеев ② А. Н. Колесников ③ А. В. Талицк
④ И. И. Погожев ⑤ Проф. Н. С. Акулов ⑥ В. К. Аркадьев
⑦ Р. И. Янус ⑧ М. В. Дехтяр

苏联是超音波的祖国,远在十月革命以前,俄罗斯学者 П. Н. 列貝捷夫^①, В. 阿特拜尔格^②, Н. 尼克列巴也夫^③及 В. 塞尔罗夫^④等即已先其他国家而首先从事于超音波振蕩学的研究。此后,苏联斯大林獎金获得者 С. Я. 沙柯洛夫教授^⑤对超音波的实际应用作出了巨大的贡献,并在 1934 年將其引用到无损探伤学中來。教授將其研究結果公开报导之后,各国也紛紛采用并繼續进行研究,其中以德国的 R. 波尔曼博士^⑥尤有显著成績,因此超音波探伤法得到很快的发展。

超音波探伤法应用很广,它可以迅速地檢查出深藏在工件内部的缺陷,近几年来发现还有可能利用超音波檢查出零件表面的裂縫,这是一个很大的进步。但是超音波探伤法也受到一定的限制,例如被檢驗的工件外形不能太复杂,表面要求光滑平坦,金属材料之晶体不能太粗以及缺陷分布要有一定范围等等。

由于我国各研究机构及工厂实验室工作人员不断努力和學習国外經驗的結果,在制造超音波探伤仪和實踐方面都获得了巨大的成就。

从探伤的可靠性以及要求更为直觉地將缺陷显现出来的观点上来講, X 光探伤法具有一系列的优点,所以工厂往往都用这种方法来判断产品的质量(例如鍋炉汽包、高压閥門以及重要鋼結構等)。X 光透照之后所得到的照相記錄常作为产品的主要技术条件之一。

X 光探伤法早在 1915 年便已有技术文献加以討論,到二十世紀初便有很多企业实际采用这种方法来控制零件質量。必須指出远在二次世界大战之前,苏联就已經先美国而在飞机制造工厂中广泛地运用 X 光探伤机。到目前为止,在 X 光探伤学中已不仅限于利用感光軟片进行零件的透照,而且还出现了电离法、干性照相

① П. Н. Лебедев ② В. Альтберг ③ Н. Неклепаев
④ В. Зернов ⑤ Проф. С. Я. Соколов ⑥ Dr. R. Pohlman

法、靜电場照相法以及輕金屬的透視法等。

γ 射綫探伤法已經在我国开始推广，因国内已經有了一些关于这方面的資料，故本書不再重复^①。

以上所述的四种工业无损探伤法各具有很多优点，但是其中任何一种都不是全能的，絕對不可能仅仅采用了其中一种便能全部解决工厂中的檢驗問題。因为每种探伤法都还受到一些限制，它們虽然可以解决某一种探伤，但却不能同时滿足另一种探伤要求，例如磁力探伤法不能檢查零件內部的缺疵和非磁金属材料；超音波探伤法常常不能发现外形复杂零件的內部微小缺疵；X光或 γ 射綫探伤法遇到橫貫的而且是相当严重的裂縫却往往檢查不出来；再由X光及 γ 射綫探伤法之間的比較来看，前者不能解决太厚而后者不能解决太薄零件的檢驗問題。根据各种探伤法的特性可以作出結論：任何工厂为要达到可靠的檢驗，就應該將这些探伤法互相結合起来組成系統的无损探伤，在特殊情况下还需要增加一些更方便的无损探伤——例如非磁性金屬的荧光探伤法等，最低限度應該具有2~3种——亦即磁力、超音波、射綫(X光或 γ 射綫)探伤法。

还必须指出，采用无损探伤法的意义并不仅限于控制零件質量的日常工作，也應該被看作是有力的研究工具，它可以帮助产品设计者及制造工艺者不断地革新产品和改进工艺——特别是热加工过程。无损探伤已經是现代机器制造工厂不可少的一项技术配备。

此外，X光探伤工作中的劳动保护及安全技术具有其独特性，苏联卫生部在这方面有严格的規定，本書在第五章中將加以单独的介绍。

^① 見(1)欧阳可强譯：金属制品的 γ 射綫檢查(原作者：С.В. Румянцев 等，重工业出版社1955年出版)；(2)于在茲譯：工业 γ 射綫探伤学(原作者：Л. К. Таточенко 等，科学技术出版社1956年出版)；(3)于在茲：金属制品的 γ 射綫檢驗(一)(二)(机械制造1955年11、12期)

第二章 磁力探伤法

一、磁力探伤法的基本原理

如果將一个磁性材料制成的零件放在磁铁的两极之間，則在零件中亦发生磁力綫。对形状不整的零件来講，横截面小的部分中的磁力綫密度也必然要大一些。当零件中有裂縫、气孔或夾渣等缺陷存在时，磁力綫就必须繞过这些缺陷而发生弯曲現象(图 1)。如果缺陷接近或位于零件的表面，則磁力綫不但在零件内部弯曲，而且还会跳过缺陷而暴露在空气中，这种漏磁現象就在零件表面生成一个有南北极的局部磁場(图 1 之 *d* 及 *e*)。如果零件是用永磁

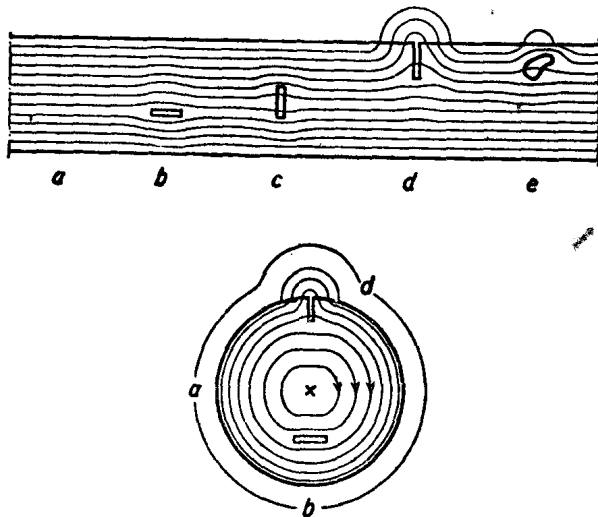


图 1. 磁力綫在有缺陷的零件中的弯曲現象

性材料(鋼)制成, 移去外界磁化力, 此一局部磁場仍能保留相当時間。向正在磁化的或帶有剩磁的零件表面上撒上很細的磁性粉末, 后者就被吸附在有缺疵的局部磁場上, 因而將缺疵显现出来。

必須說明, 零件一經磁化之后, 并不是所有的表面缺疵都能檢查出来, 例如当磁場方向和裂縫蔓延方向平行时, 磁力綫便沒有可能泄漏至空气中, 所以就不会产生局部漏磁磁場, 即使撒上磁粉, 也不能將这一缺疵显现出来。

所以, 只有当磁場与缺疵蔓延方向之間有一定夾角或互相垂直时, 才有可能显出缺疵全形。

此外, 如果缺疵深离零件表面, 磁力綫虽然也会形成弯曲, 但还不致于暴露在零件表面之外, 因此也就不会发生局部漏磁磁場, 在这种情况下, 当然不可能用磁粉显示出来(見图 1 之 *b* 及 *c*)。

磁力探伤法适宜于用来檢查零件中接近或位于表面的縱橫缺疵, 但不能檢查那些非磁性材料制成的零件。

由于零件形狀各不相同, 而缺疵蔓延方向也是形形式式, 所以在实际操作中便需要采用不同的磁化方法將缺疵用磁粉显现出来。

磁力探伤法可按下列方法加以分类:

- (1) 按磁化方向分类: 縱向磁化、周向磁化及联合磁化法 (同时进行縱向及周向磁化);
- (2) 按磁化电流分类: 直流电磁化法及交流电磁化法;
- (3) 按磁化持續時間分类: 持續通电磁化(用于非永磁性材料)及冲击或短時間电流磁化(可用于永磁性材料);
- (4) 按所用磁粉材料分类: 干粉法、油粉法及荧光粉法。

二、縱向磁化法

垂直于或接近垂直于零件縱長方向的缺疵應該用縱向磁化法檢驗。

將零件放在永久磁铁或电磁铁两极之間，或者用导綫在零件外面繞成綫圈并通电流，此时零件即被縱向磁化，磁铁或綫圈所产生的磁力綫在零件中的方向与零件之縱長軸平行（見图 2）。

縱向磁化法又可分为鉄軛磁化、綫圈开端磁化及綫圈閉端磁化三种。

鉄軛縱向磁化(图 2-a)适用于中小型零件（如螺絲及連

杆等），但在特殊情况下也可以用来檢查很長的零件（例如火車輪对等），因为它的优点是无需將磁化綫圈一次又一次地套在零件上面。在这种探伤法中，鉄軛是用导磁良好的材料制成，它有两个作用：一方面可以夾住被檢驗的零件；另一方面又对零件的磁化有很大的帮助。必須注意，磁化鉄軛与零件端面之間要有緊密的貼合，接触面越大越好，在接触面上有空气間隙存在时，就会产生很大的磁阻。

鉄軛磁化探伤法一般都用低压高电流的直流电。

綫圈开端磁化法(图 2-b)应用也很广泛，例如長数公尺的电机或汽輪机軸的橫向（圓周向）裂縫就常用这种方法檢查。綫圈开端磁化法所用设备比較簡單，甚至在有足够的电流及电压的条件下，只要在被檢驗的零件上繞以数圈电綫就可以使零件磁化。但是它有一个缺点，从图 3 可以看出被磁化的零件中的磁力綫，从零件一端散出再由另一端回入零件时，不是全部都发生在零件的端

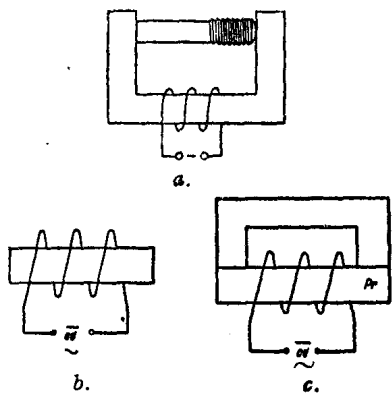


图 2. 縱向磁化法

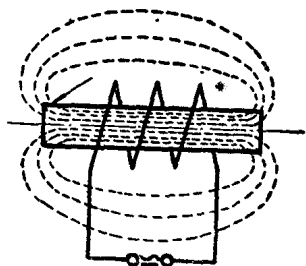


图 3. 外磁現象

面上,而是有相当一部分磁力线经过圆周表面进入零件,结果常在零件两端产生外磁,撒上磁粉之后,两端都会吸附上一大片,如果恰在这两端有缺点,就不容易发现。为了避免这种情况,可以在零件两端再接以两块磁性材料,使外磁移到磁性材料上去以减少其干扰作用。

图 2-c 所示为线圈闭端磁化法,零件在检验时除了外面要绕以线圈上外,还要和一根铁轭相接触,铁轭的作用是加强电磁感应并改良零件两端磁化情况。线圈闭端磁化法的检验灵敏度要比不用铁轭的开端磁化法高一些,但是操作不大方便。

线圈开端或闭端磁化法可以用直流电,也可以用交流电。

下面介绍几种用纵向磁化法检查零件的例子。

图 4-a 是一根销子在磁力探伤之前的实物照相,经过直流电



图 4-a. 销子在探伤前之照相



图 4-b. 销子经纵向磁化检查后照相

纵向磁化并喷射磁粉油液之后,销子上全部横向裂缝都非常清楚地显现出来(图 4-b)。

图 5 为一永久磁铁探伤器(西门子公司),专供检验薄板焊缝。在检验时只需将磁铁两极分别接触焊缝两侧并喷射磁粉油液即可。



图 5. 永久磁铁探伤器

图 6-a 为 R. 貝特賀德^①氏設計的一种綫圈磁力探伤器, 專供檢查鍋炉中用漲管法裝配的管子外壁圓周裂縫, 因为这种裂縫被鍋炉鋼板遮住而位于隱蔽的地方, 不用特制的磁力探伤器是无法檢查出来的。图 6-b 为磁化时的情形, R 为管子在漲管装配时所發生的裂縫; 1 是磁力探伤器上的彈性法蘭, 共分三块, 用来保持磁性接触; 2 为法蘭盖; 3 为直流磁化綫圈; 4 为鉄芯。磁化时的磁力綫分布也在图中表示出来。管子从內壁磁化并澆以熒光性磁粉

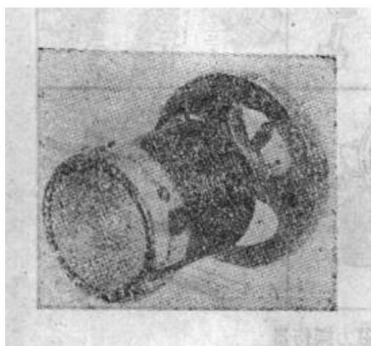


图 6-a. 管件磁力探伤器

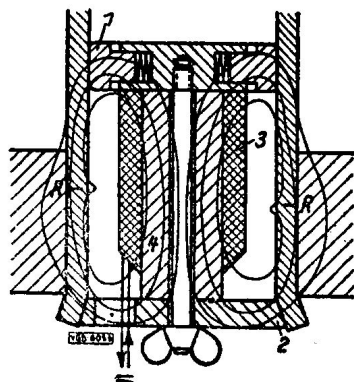


图 6-b. 管件磁力探伤器構造

油液之后, 裂縫全形就显现出来(見图 7)。这种磁力探伤器的优点是用直流电磁化管子, 磁化深度可以深透管壁, 因此檢疵灵敏度相当高, 即使管子裂縫沒有自外方透入內壁, 也完全有可能檢查出来。为了能檢查各种直径的管子起見, 这种磁力探伤器的前后法蘭都可以更換, 使用非常方便。

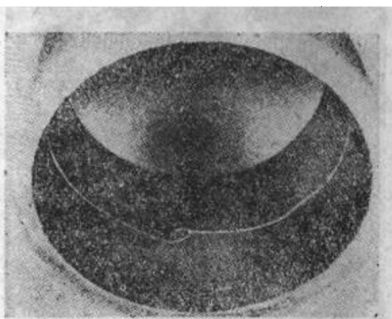


图 7. 鍋炉管之裂縫

图 8-a 是一种万能式小型磁

① R. Berthold

力探伤器,它是由八个单元按各种要求配合起来。这八个单元中包括两个磁化线圈,一个活接头,一个固定接头及两对形状不同的探头(图8-b)。图8-c是检查对缝焊接的方法;图8-d为检查丁字焊;图8-e为检查滚珠轴承环以及图8-f为检查一多节焊质量情形,这种磁力探伤器构造很简单,所需电流约300~500安培。

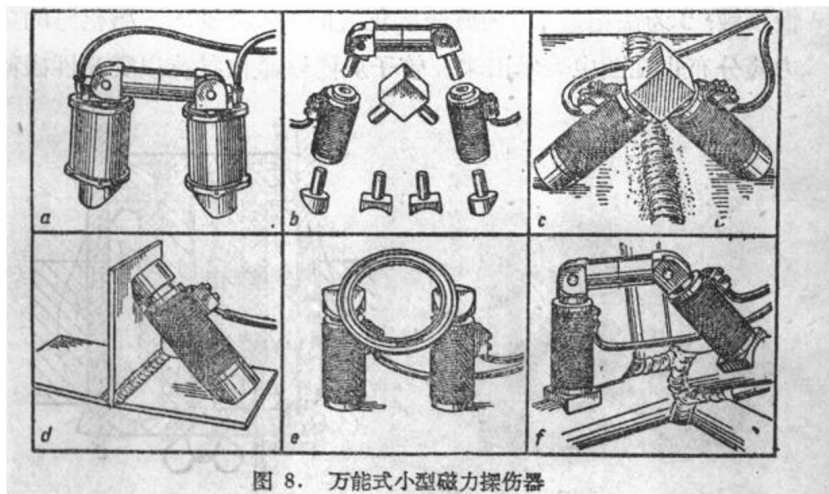


图 8. 万能式小型磁力探伤器

很多机械零件形状极其复杂,不容易从一个固定的方向加以磁化。图9为一台专门用来检验汽车小而复杂的零件的磁力探伤机,需要检验的零件先放在圆孔中磁化,然后再浸入方形槽的磁粉油液中去。零件检查完毕之后仍用圆孔中的线圈退磁。

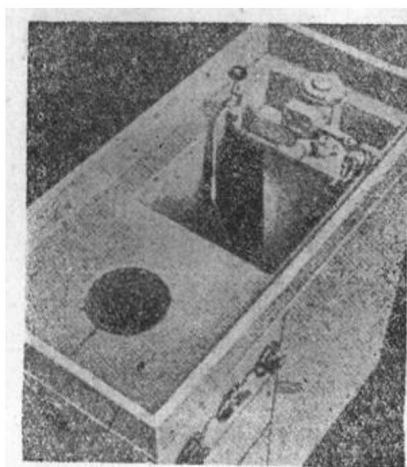


图 9. 汽车零件磁力探伤机

极大的零件很难用磁力探伤机直接检查,图10-a是用电缆横绕在汽轮机动叶轮上检查横向裂缝;图10-b是用电缆串绕检查动叶轮径向裂缝的情形。

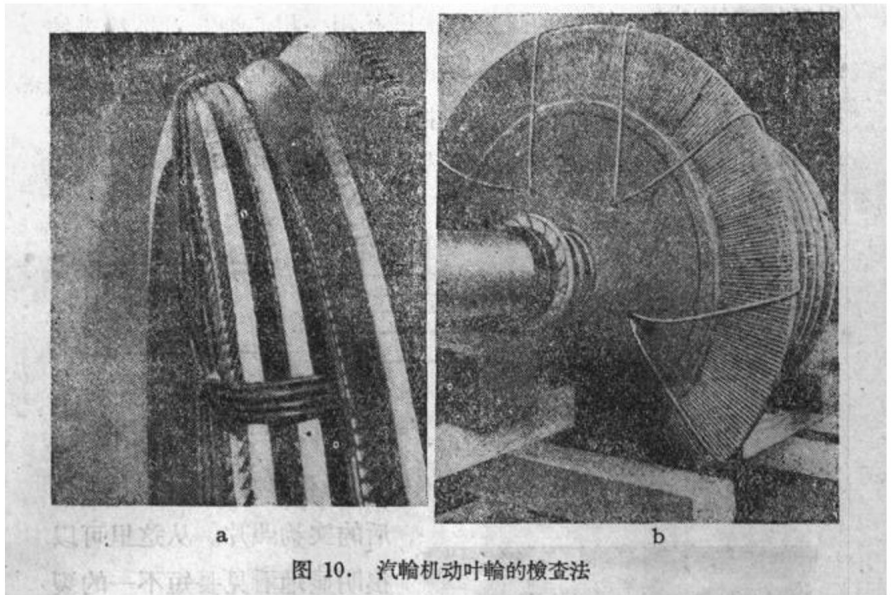


图 10. 汽輪机动叶輪的檢查法

我国試制成功的以及国外出品的固定式磁力探伤机可以作縱向磁化,但是結構上还包括圓周磁化及退磁綫路,將在以后介紹。

三、周向磁化法

零件上沿縱長方向蔓延的缺疵(主要是裂縫)必須用周向磁化的方法檢驗。

周向磁化原理見图 11。

在零件中通以电流,則产生的磁力綫必以某一点为中心形成很多同心圓。如果零件表面或接近表面的裂縫与磁力綫垂直或有一定的夾角,結果就有一部分磁力綫外露而造成漏磁磁場,噴射磁粉油液之后,磁粉就被此一漏磁磁場吸附而將缺疵显示出来。



图 11. 周向磁化探伤原理

周向磁化的方法不外乎两种,第一种是在被檢驗的零件上直接通以低压电流(图 12 及图 13),这种方法适用于軸形零件、鑄件

以及焊缝的检查；第二种磁化方法则是用一根心杆穿过被检查的工件的中空部分，在心杆上通以低压电流(图 14)，这时在工件中感应而生的磁力线也是以心杆为中心而形成无数同心圆，这种方法可以用来检查管件、阀门、飞轮或齿轮轴颈以及盘弹簧等。

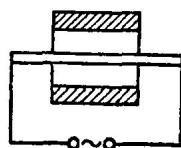
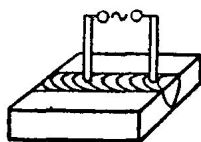
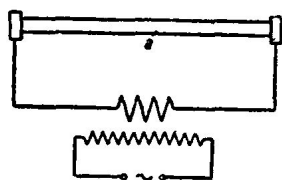
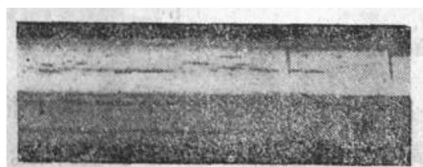


图 12. 轴形零件的周向磁化 图 13. 焊缝通电磁化 图 14. 管件周向磁化

图 15 为一铣轴经过直接通电作周向磁化并喷射磁粉油液之



后的实物照片。从这里可以很明显地看见长短不一的裂纹，它们都和轴心线相平行。

图 15. 铣轴上之纵向裂纹

的内壁裂纹。

图 16 为一齿轮经图 14

所示方法磁化之后检查出来的

图 17 是用一台移动式磁力探伤机检查高压法兰的例子。法兰

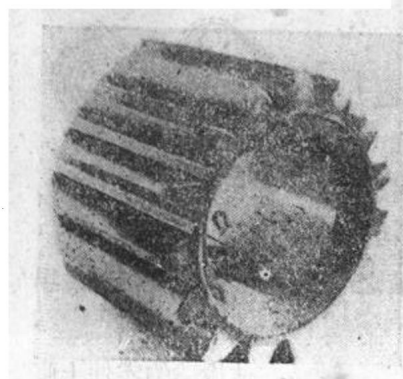


图 16. 齿轮轴颈之裂纹

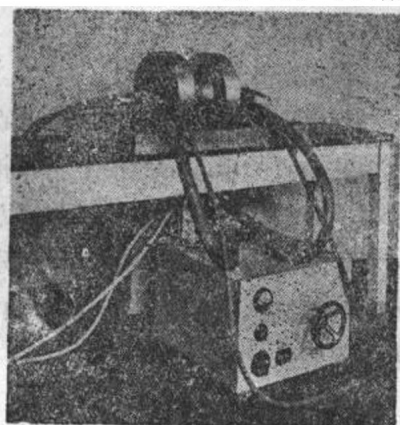


图 17. 高压法兰之心杆磁化探伤法