



工人技术等级标准自学丛书

无损探伤工必读

天津市机械工业管理局主编

机械工业出版社

本书是根据原机械工业部1985年颁发的《工人技术等级标准》进行编写的,内容紧扣“标准”。书中对“标准”中的应知、应会和工作实例三部分作了较全面、系统的阐述,便于读者能通过自学较熟练地掌握应知、应会的知识和基本的操作技能。

本书可供初、中级探伤工及具有初中以上文化水平的探伤人员自学之用;也可供科研、厂矿企业的有关技术人员及大、中专院校的师生参考;同时可作为厂矿企业进行技工培训和考核的参考教材。

本书由王海民编写,刘奎中主审、苑广泽参审。

无损探伤工必读

天津市机械工业管理局主编

*

责任编辑:俞逢英 版式设计:罗文莉

责任印制:王国光 责任校对:熊天荣

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $9 \frac{7}{8}$ ·字数 215 千字

1990年12月北京第一版·1990年12月北京第一次印刷

印数 0,001—2,400·定价:6.25元

*

ISBN 7-111-01874-5/TG·472

编委会名单

主任委员：王志平

副主任委员：董无岸 陈遐龄 王玉杰

赵国田 杨国林 范广才（常务）

委员：杨溥泉 陈 余 温玉芬 戴振英

曹桂秋 郝淑贤 解延年 孟昭义

前 言

1981年,天津市第一机械工业局受第一机械工业部委托,根据1978年部颁《工人技术等级标准(通用部分)》主编了《工人技术等级标准自学丛书》(每个工种单独成册,共35册)。该丛书出版后,深受广大读者欢迎,赢得普遍赞誉。

1985年机械工业部对原部颁《工人技术等级标准(通用部分)》进行了修订并重新颁布(下称“新标准”)。新标准在工人技术等级、工种划分及应知、应会的内容上都作了较大的改动,原丛书已不适应新标准的要求了。鉴于以上情况,天津市机械工业管理局(原天津市第一机械工业局)对该丛书按“新标准”要求,重新组织编写,包括“新标准”中的全部工种,每个工种一本,共计39本。其中30本由机械工业出版社出版,9本由天津科学技术出版社出版。

新编写的丛书是按“新标准”应知、应会、操作实例的要求,采用逐条解答的体例编写的。除检查工种只有中级一个等级外,其他工种均包括初、中两个等级。全套书采用了各项国家新标准和法定计量单位。该丛书可供机械工人自学之用,也可做为企业对技术工人进行培训和考核的参考用书。

由于此套丛书涉及的知识面广,我们又缺乏经验,有错误与不足之处,恳切希望各界读者批评指正。

天津市机械工业管理局

目 录

前言

初级工	1
-----------	---

应 知

1 常用无损探伤仪的种类和用途	1
2 自用探伤仪的电路框图、探伤原理、主要性能、灵敏度、 使用范围、操作规程和维护保养简单知识	7
3 常用辅助设备的种类、名称、规格、型号、使用规则及 保养方法	17
4 常用工具、用具(或材料)的种类、名称、规格和用途	22
5 常见金属材料的种类、名称、规格和牌号	35
6 药液配方的名称、性能、主要成分、配制及 使用注意事项	42
7 机械制图基本知识	45
8 有关计算：划线、探伤比例、射线探伤灵敏度计算	48
9 按技术标准、工艺卡、技术条件、操作规程掌握 下列方法的操作过程	50
10 焊接种类、方法及识别常识(区别手工电弧焊、 电渣焊、氩弧焊等)	54
11 电工基本知识	57
12 有关锅炉、压力容器知识	62
13 射线对人体的危害及防护知识	67
14 安全技术规程	70

应 会

1 正确使用和维护保养自用无损探伤仪(X射线、 γ射线、超声波、渗透等探伤仪)	73
--	----

2	正确使用有关工具、用具和辅助设备及维护保养。 一般工具、用具的修理和自制	75
3	常用药液的配制(显影液、定影液、磁悬液)及识别	77
4	看懂零件图	83
5	正确执行探伤工艺规程	95
6	独立地进行无损探伤中的辅助工作和生产准备工作	98
7	独立地按规程标准、有关技术文件调整仪器和 正确进行射线、磁粉、渗透检验操作。准确做 好原始记录	104
8	从底片上衡量工作质量(曝光过度、曝光不足、露光、 灵敏度低于要求、标记不全、贴片对位不正确等)。 并能识别典型缺陷种类	112
9	对简单工件如钢板、平面锻件进行超声波探伤, 判别波形, 作出判断	114
10	室外工作时, 射线探伤的安全防护计算	123
11	电工基本操作(仪器电源接线、调换熔丝、 安全用电等)	128
12	正确执行有关安全防护规则	132
13	做到岗位责任制和文明生产的各项要求	135

工 作 实 例

1	筒体纵缝、环缝X射线或 γ 射线探伤的操作过程	137
2	排除射线、超声、磁粉探伤仪电源不通的故障及 超声探头、磁极触头电接触不良等故障	139
3	正确操作超声波探伤仪探测大直径钢管、轴类锻件等	140
4	正确操作磁粉探伤仪探测焊缝、螺栓、轴等工件。 正确使用灵敏度试片	145
5	正确配制各种探伤用药液、显影液、定影液、 磁悬液等	151
中级工		157

应 知

- 1 X射线探伤仪和 γ 射线探伤仪的一般结构原理 157
- 2 探伤仪常见简单故障分析 160
- 3 超声探伤中用的各种探头的基本结构 170
- 4 了解常用仪器(射线、超声、磁粉、荧光探伤仪)的主要技术性能 180
- 5 金属工艺学(热处理、铸造、压力加工等)初步知识 183
- 6 探伤中自用用具(或材料)和药液的作用和原理 190
- 7 探伤中自用用具(或材料)和药液的质量鉴别方法 192
- 8 超声波探伤的物理基础、探伤方法,缺陷定位、定量的计算 198
- 9 磁化电流规范计算 212
- 10 掌握射线探伤的评片标准 219
- 11 射线探伤原理及影响灵敏度的原因,提高灵敏度的措施 221
- 12 各种产品(焊件、锻件、钢板、钢管、铸件等)常见缺陷种类及产生原因 229
- 13 射线探伤中各参数之间相互关系的理论分析和电压、电流、曝光时间、焦距、焦点大小、工件厚度差等对底片质量的影响 233
- 14 电工一般基础知识 235
- 15 受压容器的基本知识(类别、等级、采用何种探伤方法、抽查比例、工艺要求等) 241
- 16 生产技术管理知识 244

应 会

- 1 正确使用射线剂量仪进行剂量计算 248
- 2 根据评片标准正确地评片,作出结论,出具报告 250
- 3 根据产品的几何形状、厚度、技术要求,正确选择

探伤规范和有关技术条件	253
4 超声检测较复杂的工件并能正确地对缺陷进行定位、 定量、判别波形	256
5 分析射线底片报废原因并提出改进措施	261
6 超声检测常见工件, 结合工件制造工艺对缺陷进行 分析并做出结论	263

工 作 实 例

1 能独立地对整台容器探伤	272
2 超声探伤仪与探头的组合性能测试, 并鉴定其性能优劣	299
参考文献	305

初 级 工

应 知

1 常用无损探伤仪的种类和用途

金属材料在生产和加工过程中往往产生各种缺陷，影响材料和制品的质量。非金属材料和各种复合材料，在加工过程中也常会出现气泡、分层、材质不均、粘合不良等缺陷。因此，在生产中必须采取各种手段及时地发现这些缺陷，以便改进工艺，确保产品质量。对重要产品还要求能及时发现使用中产生的缺陷，以避免发生严重的设备损坏和人身事故。采用无损探伤方法，不破坏材料和零件，所以在检验工作中具有重要的作用。

检查构件和材料中缺陷的无损探伤方法十分广泛，声、光、电、热等多种物理效应均可应用。目前，最常用的无损探伤设备有射线探伤机、超声波探伤仪、磁粉探伤机、渗透探伤装置和涡流探伤仪五种。

一、超声波探伤仪

把高频声波（通常为 $1\sim 5\text{ MHz}$ ）即超声波脉冲从探头射入被检物，如果其内部有缺陷，则一部分入射的超声波在缺陷处被反射，利用探头能接受信号的性能，可以不必破坏被检物而检查出缺陷存在的部位及其大小。

利用普通声波从外面不损坏地检测物体内部情况的方法早就被人们采用了。如用小锤敲敲铸件，检验内部有无孔洞等。

由于声响检测方法是依靠人的听觉来作分析和判断的，因此要求操作人员能很熟练地判断声响，但也难于作出定量的表示形式。与上述方法相比，超声波探伤却能容易地作出定量的表示形式。

人耳可听得见的声波的频率（即每秒多少次）范围，大致是 20Hz 至 20kHz。频率比 20kHz 更高的声波叫超声波。

用于探伤的超声波，频率为 400kHz (0.4MHz) ~ 25 MHz，其中用得最多的是 1 ~ 5 MHz 的超声波。

蝙蝠、秋虫和海豚等能听见人耳听不到的高频声音，而且能用超声波来传递信息。尤其是蝙蝠，它能发射超声波脉冲，并能接收和识别从电线等障碍物或昆虫等反射回来的波，因此它不会碰撞障碍物，又能捕食昆虫。

雷达探测空中的飞机是利用了电波脉冲的反射，超声波探伤大多采用的是脉冲反射法。它与蝙蝠一样，用的是一种较简单的形式，声纳和鱼群探测器探测海洋里的船只和鱼类，也是利用超声波脉冲的反射。

这些仪器都是利用回波原理。不管电波或是声波，其反射波都叫回波。

在金属探伤中之所以使用高的频率，是因为：

1. 指向性好，能形成窄的波束；
2. 波长短，小的缺陷也能够很好地反射；
3. 分辨率高，多个缺陷能分辨清楚。

超声波探伤可检查金属材料、部分非金属材料的表面和内部缺陷。如检查锻件中的白点、裂纹、夹渣、分层；非金属材料中的气泡、分层和粘合层中的粘合不良；焊缝中裂纹，未焊透、夹渣、气孔以及管棒和锻件中与表面成一定角度的缺陷。

二、射线探伤机

射线或者电离射线就是指X射线、 β 射线、 γ 射线、电离射线和中子射线等，它们的种类很多。其中易于穿透物质的有X射线， γ 射线以及中子射线三种。X射线与 γ 射线的区别只是发生的方法不同，它们都是波长很短的电磁波，两者的本质是相同的。中子和质子是构成原子核的粒子，质子带正电荷，电子带负电荷，而中子则是呈中性的。发生核反应时，中子飞出核外，这种中子流叫做中子射线。

这三种射线都是易于穿透物质的，但是在穿透物体的过程中受到吸收和散射，因此其穿透物体后的强度就小于穿透前的强度。衰减的程度由物体的厚度、物体的材料品种以及射线的种类而定。当厚度相同的板材存在气孔时，有气孔的部分不吸收射线，容易透过。相反，如果混进容易吸收射线的异物时，这些地方射线就难于透过。因此，将强度均匀的射线照射所检测的物体，使透过的射线在照相胶片上感光，把胶片显影后就可得到与材料内部结构和缺陷相对应的黑度不同的图像，即射线底片。通过对这种底片的观察来检查缺陷的性质、大小、分布状况等。这种检测就叫做射线照相法探伤。这种将透过物体的射线直接在胶片上感光的方法也叫直接照相法。此外，还有透视法和间接照相法。要识别微小缺陷，用直接照相法效果最为理想。

射线探伤法可检查金属材料和非金属材料的内部缺陷，如铸件和焊缝中的气孔、夹渣、未焊透等体积性缺陷。

三、磁粉探伤机

钢铁等铁磁性材料能被磁场磁化，在这些材料中产生的磁力线比非磁性材料要多几十倍到几千倍以上。磁化后磁棒的磁力线如图1.1-1所示。

出入磁棒两端的磁力线，使两个端部的附近产生强烈的磁场，并且两端分别成为N极和S极。因此，把铁粉磁性粉末（叫做磁粉）

撒在棒上时，由于磁场的作用，磁粉就被吸引到磁极附近并附在磁极上。

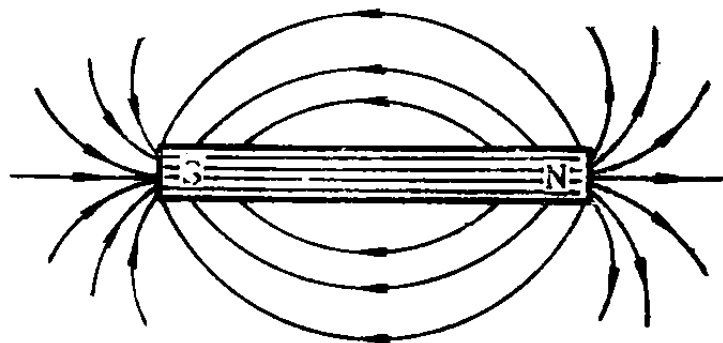


图1.1-1 磁棒的磁力线

现在来研究一个有裂纹（缺陷）的材料（强磁性材料），其裂纹方向与磁化方向成直角，如图1.1-2所示。

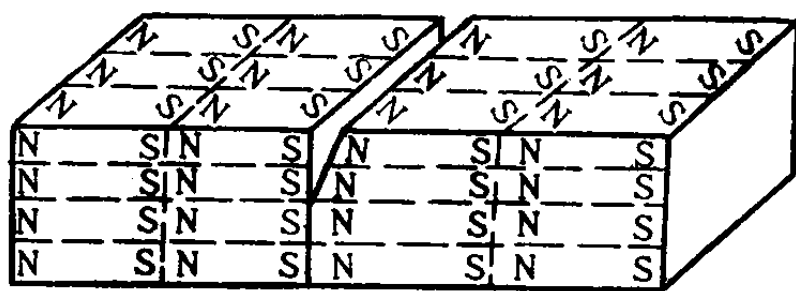


图1.1-2 磁棒的磁极

磁化后的材料可以认为是许多小磁铁的集合体，除了裂纹和棒两端之外，连续部分的这些小磁铁的N、S磁极是互相抵消的，所以不呈现磁极。另一方面，在材料的裂纹等处，磁性是不连续的。由于材料相对地被分开，故呈现磁极，所以磁粉就能附着在缺陷部位。

图1.1-3表示在磁化试件的裂纹部位的磁力线分布。在裂纹部分附近，磁力线绕过空间出现在外面，这种磁力线叫做缺陷漏磁；另外在缺陷附近所产生的磁场叫做缺陷的漏磁场（局部磁场）。

缺陷漏磁场的强度是同缺陷漏磁的磁通密度成正比的，其强度和分布取决于缺陷的尺寸、取向、位置及试件的磁化强度等。漏磁场强度越大，缺陷部位就越容易吸附磁粉。内部缺陷的漏磁场比表面开口缺陷的漏磁场要弱。另外若在与裂

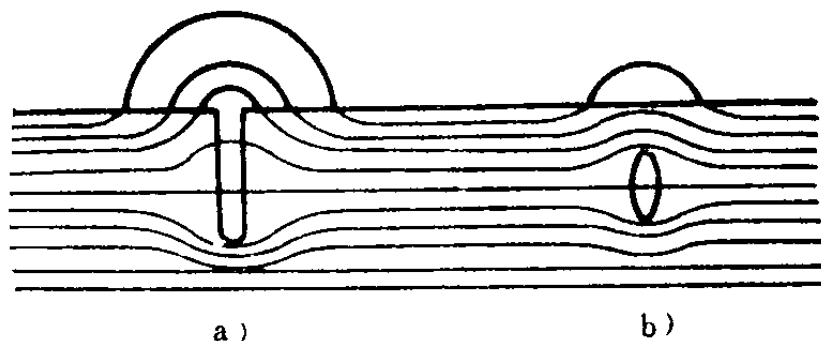


图1.1-3 缺陷漏磁

a) 表面缺陷 b) 内部缺陷

纹平行的方向进行磁化时，因为在缺陷部位不发生磁极，所以就看不出有磁粉附着。

如上所述，把钢铁等强磁性材料磁化后，利用缺陷部位所发生的磁极能吸附磁粉的探伤方法叫做磁粉探伤。另外，在探伤中观察到的缺陷部位吸附着的磁粉叫做缺陷的磁粉痕迹。

磁粉探伤可检查铁磁性材料表面和近表面缺陷。如原材料、机械零件表面上的裂纹、折叠、夹杂物、发纹等。

四、渗透探伤装置

渗透探伤是利用黄绿色的荧光渗透液或者红色的着色渗透液，来显示放大的缺陷图像的迹痕，从而能够用肉眼检查出试件表面上的开口缺陷。

根据不同色调的渗透液和不同的清洗方式，渗透探伤法可以分为几类。首先，按照不同的色调，大致可分为荧光渗透探伤法和着色渗透探伤法两种。

荧光渗透探伤法，是采用含荧光材料的渗透液的探伤方法。它用波长为 $3600\text{\AA} \pm 300\text{\AA}$ 的紫外线进行照射，使缺陷显示迹痕发出黄绿色的荧光。本方法的观察必须在暗室中采用紫外线灯（不可见光）来进行。

着色渗透探伤法是采用含红色染料的渗透液的探伤方

⊖ $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ ，下同。

法。它在自然光下或白光下可以观察出红色的缺陷显示迹痕。只要在明亮的地方，都可以进行着色探伤。与荧光渗透探伤相比，着色渗透探伤不大受探伤场所、电源和探伤装置等条件的限制。

另外，上述两种探伤方法中，根据清洗渗透液形式的不同，着色渗透探伤又分为水洗型、后乳化型和溶剂去除型三种。

水洗型和后乳化型渗透探伤方法所用的渗透液都是用水清洗的。水洗型渗透液可以直接用水清洗干净，而后乳化型渗透液因渗透液本身用水是洗不掉的，要把乳化剂加到试件表面的渗透液上，再用水洗净。溶剂去除型渗透探伤法所用的渗透液是用有机溶剂进行清洗去除的。

渗透探伤可检查金属和非金属材料表面的开口缺陷。如表面裂纹、折叠、疏松、气孔等。

五、涡流探伤仪

涡流检测就是在导电的试件（导体）内发生涡流电（简称涡流），通过测量涡流的变化量来进行试件的探伤、材质的检验和形状尺寸的测试等。

如图 1.1-4 所示，将线圈与导电的试件相靠近，把线圈接在交流电源上，通过交流电，在导电试件中就会感应产生交流电。这是由于线圈通过交流电时，能产生随时间而变化的磁力线，这些磁力线穿过导电试件，使它感应产生交流电。

如上所述，使用交流磁场

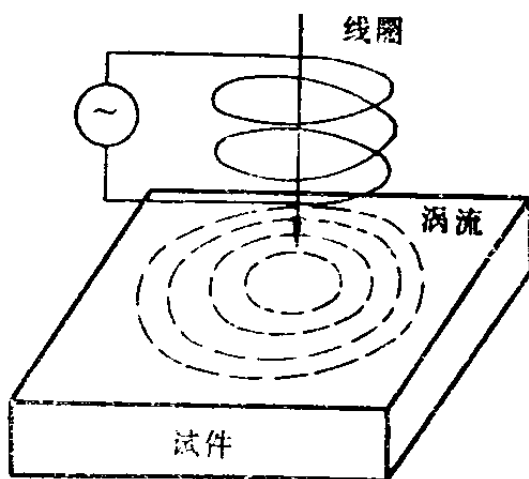


图1.1-4 涡流的产生

时,穿过导体的磁力线随时间而变化,在导体内部应产生感应电动势,从而有交流电流过,这种现象就叫做电磁感应。把所产生的这种交流电叫做涡流或者感生电流。涡流的分布及其大小,是由线圈的形状和尺寸、交流电频率、导体的电导率、磁导率、导体与线圈的距离、以及导体表面裂纹等缺陷的存在所决定的。

因此,根据所检测到的导体(试件)中的涡流,就可以取得关于试件材质的情况,如有无缺陷及其形状尺寸的变化等。

涡流是交流电,所以在导体的表面较多。随着涡流向导体内部的深入,电流按指数函数而减少,这种现象称为集肤效应。因此,从试件上取得的信息以表面上的为最多;而对内部检测来说,则缺陷愈深,检测愈难。

涡流探伤可以检查金属材料表面及近表面的缺陷,如管、棒、线等型材的裂纹、折叠、夹杂物、凹痕等。

2 自用探伤仪的电路框图、探伤原理、主要性能、灵敏度、使用范围、操作规程和维护保养简单知识

一、超声波探伤仪

1. 电路框图 各个厂家生产的A型脉冲反射式超声波探伤仪虽然型号不同,但其原理和基本线路组成相似,探伤

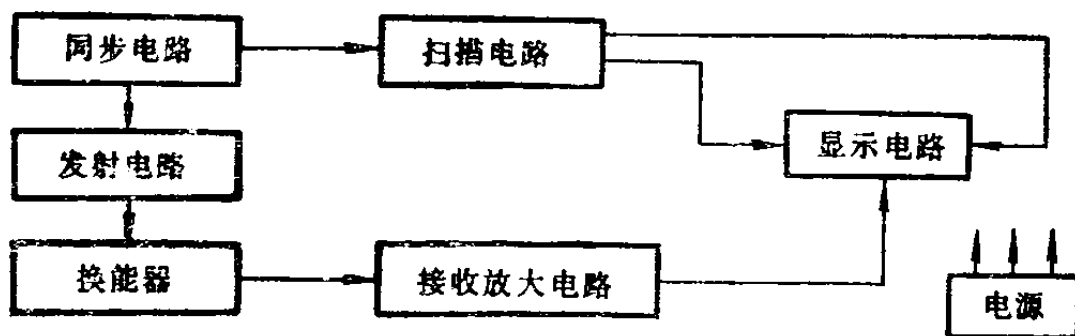


图1.1-5 超声波探伤仪电路框图

仪的基本线路组成的框图，如图1.1-5所示。

2. 探伤原理 振动在介质中传播的过程，称为波。波有电磁波（电波和光波）和声波（机械波）。声波能在气体、液体、固体中传播。根据频率不同，声波又可分为次声波、声波和超声波。

超声波具有好的方向性和强的穿透能力，在介质中传播时，有反射、折射、衰减等特性。由于声波在介质中的振动方向与波在介质中的传播方向不同，声波的波形可分为纵波、横波、表面波及兰姆波。

在无损检验中，用具有压电效应的压电式换能器，将超声波的机械振动（脉冲或连续波）通过耦合介质（油、水等）导入材料中，测定超声波从缺陷和界面反射波的时间差（反射法）或透过材料的能量差（穿透法）。从示波器的波型显示上便可判断其内部有无缺陷。

3. 主要性能 超声波探伤仪性能指标的好坏决定着超声波探伤的优劣，现就其主要性能叙述如下：

（1）分辨力 是指超声波探伤系统在时间轴上分开两个相邻缺陷回波的能力，通常用这两个相邻缺陷之间的距离表示（或用分贝值表示）。

（2）水平线性 仪器的水平线性又称时基线性，指的是仪器时基显示值与探测声波之间的正比例程度，也即电子束水平扫描电压与时间成正比例关系的程度。

仪器水平线性的好坏直接影响到缺陷定位的精度。

（3）垂直线性 探伤仪荧光屏上反射波高度与接收信号成正比关系的程度。

（4）动态范围 在仪器增益不变时，示波屏能分辨的最大回波与最小回波之间的dB差值。以回波从示波屏的垂直

极限的80%衰减到消失时（一般为1 mm）仪器所加入的衰减dB数表示。

4. 使用范围 超声波探伤作为无损检测的一种重要手段，在工业上已获得广泛的应用。目前，仪器的品种、探头种类、探伤方法、自动化水平等各个方面都在不断地进行革新和发展中。

在超声波探伤中，由于使用的波形、发射和接收的方法、信号的显示方式、探头与工件的耦合特点、工件形状和缺陷类型、实现探伤的手段等都不相等，所以其使用范围大致有以下几个方面。

纵波探伤可用于大型和一般锻件粗加工之后的预检，以及热处理和精加工后的检查；大型设备在定期检修时，在不拆卸和少拆卸的情况下，它可对关键零部件进行探伤，以便发现疲劳裂纹和其它缺陷；它可以较高的灵敏度探测钢坯中的冶金缺陷，部分代替酸洗法宏观检验；用来观察底波的衰减程度及缺陷波的存在与否，还可判别大型铸钢件质量。

对裂纹等片状缺陷采用横波探伤灵敏度高，操作方便，机动性大，成本低。横波探伤还适用于检查板厚6 mm以上的对接焊缝，尺寸较大的管焊接头角焊缝和T形焊缝内的未熔合等危险性缺陷；它也可用来检查直径6 mm以上的管材和棒材的表面和内部裂纹、折叠、夹渣等。

5. 操作规程 一切工件和材料在进行超声波探伤时，均应有技术规程，以使探伤工作顺利进行和得出正确的探伤结论。

（1）被探工件表面粗糙度应达到 $Ra_{\ominus}$ 的最大允许值为 $6.3\mu\text{m}$ ，在难以利用机加工方法达到此要求时，至少应除

$\ominus$ Ra 为新国家标准GB—1031—83中规定的轮廓平均算术偏差值。