

# 大型铸锻件文集

HEAVY CASTINGS AND FORGINGS COLLECTED WORKS

第 4 期

北京重型机器厂

一九八九年  
一九九〇年 合刊

**大型铸锻件文集**  
(机电部大型铸锻件情报网网刊)

编辑:北京重型机器厂技术情报室

责任编辑:张 青

印刷:国家建材局地印所

一九九〇年九月

# 目 录

护环无损检验三十年——对今日能力的评价 .....	1
G.施泰茵著	
李景元、李丽萍、赵一名译 付春寿校	
能够满足现在和将来要求的标准护环材料 P900 .....	20
G.施泰茵	
陈君华译 付春寿校	
转子锻件锻造合理的热工工艺的选择 .....	35
德米特洛夫等著	
付春寿译 张青校	
用于压水堆核反应堆容器筒形壳体锻件的制造 .....	39
Kazuo Aso 等著	
廖安棣译 朱云鸥校	
用塑泥材料模拟大型锻件的心部压实 .....	53
R.L.波德纳等著	
陈君华译 任猛校	
钢锭凝固的数值模拟 .....	77
罗格·维斯特等著	
廖安棣译 朱云鸥校	
加热和冷却条件下的钢的热物理学性能 .....	85
M.A.阿罗诺夫等著	
付春寿译 张青校	
耐么用高锰钢 .....	90
和久芳春等著	
胡淑珍译 朴善钟校	
高温加热对高碳高锰钢铸件中碳化物组织的影响 .....	99
平木道幸等著	
马芝芳译 任猛校	
奥氏体不锈钢铸钢的铁素体量的影响 .....	106
岸川 茂著	
周国强译 朴善钟校	
稳定奥氏体不锈钢(ZXNCTD26-15)和不稳定奥氏体不锈钢(ZXCN18-10)的疲劳断裂的机械性能和动力性能;热处理与离子氢处理的作用 .....	109
P.于华特等著	
蔡守琰 译 肖慰彬校	

合金元素对高铬铸铁性能和结晶的影响 .....	123
	A.哈德任等著 张青译 付耆寿校
计算机辅助设计铸钢件冒口 .....	125
	B.A.捷尼索夫等著 张青译 付耆寿校
型内变性处理用浇注系统 .....	128
	B.B.茨维列尼也夫等著 张青译 付耆寿校
铸钢的缺陷及对策 .....	130
	岸川 茂著 周国强译 朴善钟校
日本及世界各国铸件的生产情况 .....	133
	《铸物》编辑委员会著 马芝芳译 任猛校

# 护环无损检验三十年 ——对今日能力的评论

G·施泰茵

西德 克虏伯—克洛克纳公司锻造厂技术报告；埃森

## 1. 提 要

五十年代早期，第一台工业用超声波探伤设备就投入了使用。

从那时起，具有更高灵敏度设备的发展速度是相当快的。

本文描述在过去三十年基础上有所发展的试验方法和灵敏度水平。本文最后的部分包含一个提供用计算机控制的超声波浸入式试验装置可能性的概述，这台试验装置利用了对奥氏体材料进行成本低廉的试验用的超声波技术方面最新的进展。

## 2. 引 言

回顾一下即可发现，无损材料试验具有很长的传统，作为最早的手工艺艺人的中国瓷器制造者靠敲打他们制成的艺术品产生振荡而形成的声音检查它们的质量。直到今天，可见声检验在玻璃制造和瓷器生产领域仍然是检验产品质量的可靠方法。

特别应指出的是，作为金属材料的无损检验，由于要满足灵敏度，有效性和自动化的严格要求，在过去数十年中，各种技术已得到了发展和完善。

最重要的无损材料检验方法是：X射线照像，超声波检验，着色渗透试验，涡流磁粉检验，涡流法和应力测量。

上述所有的试验方法均能够应用于锻件的制造中。在奥氏体锻件的质量控制方面，例如护环锻件，超声波探伤和着色渗透法已成为必须的检验方法，残余应力的测量和涡流检验也被使用。

本文介绍了在发电机护环超声波探伤方面一系列的焦点问题的研制情况。而出于对完整性的考虑，其它的无损检验方法仅仅作作为一般叙述。

## 3. 超声波检验和检验设备的发展

我公司早期的报道中报道过，在经过生产铸锻件的各种制造工序后，采用过用给定尺寸的锤子敲打它们的办法来检验这些铸锻件是否“无缺陷”。评定的标准是可听见的声音的纯度。通过新型电声的发出和接收方法有可能达到从可听见声波到超声波的转变。而通过锤子敲击在工件内部引起的自然振动很少取决于锤子本身，而主要是取决于工件的形状和打击的位置。电声发生器能产生特定的频率。如果波长很短，这些波能够被聚焦并“射入”锻件，而不受锻件的形状及尺寸的影响。

早在18世纪的后半期，斯帕兰察尼就曾猜想蝙蝠依靠人耳听不见的声音信号确定飞行方向，直到一九三八年皮尔斯和格瑞芬才证实了这一假设。

一九二九年S·J索科洛夫对工件进行超声波检验并通过与无不连续性区声音传播相比较，在不连续区中，声音传播有强烈的衰减。从而证实了不连续性的存在。

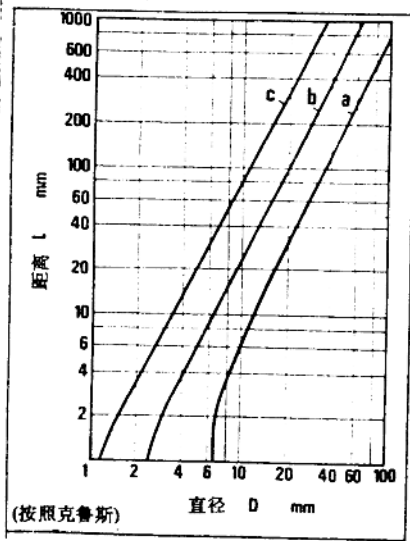
一些年后，在一九四二年，F·A 费尔斯通第一次将用于探测海深和探测航行距离的回声探测技术应用到材料试验中。一九四五年以后，随着对无损探伤方法需求的不断增加，并在多方面的改进和修正之后，回声探测技术已应用于大规模的工业化生产中。

目前所使用的脉冲回波技术和有关设备是在一九三九年到一九四二年由美国的费尔斯通、英国的斯普鲁斯、德国的克鲁斯等人开发研制的。

路德维希·别尔格曼在把超声波技术推广到德国的科学和工业的过程中起了关键的作用。他的“超声波”一书在一九三七年第一次发表，一九四九年见到了此书的第五版。别尔格曼详细地叙述了有关超声波的发生、检波，探测以及测量等方面的主要问题。他对文献的研究也是值得重视的。在第五版列举的参考资料中涉及 2500 篇刊物。

一九四九年，别尔格曼在探测缺陷这一章写道：

“为了探测钢中的细小缺陷，操作必须在声频超过 10000 千赫芝时进行。探测缺陷需正视一个现实，即很难产生真正平行的声束。此外，金属材料不总是完全均质的，且小的金属晶粒的界面会增加，不需要的声波的衍射及反射波的扩散。更有甚者，多条声波的底波反射波不总是绝对平行的。它们产生有害的影响，最终，实质上不可能从声波接收装置上真正实现点到点间的扫描。”这种陈述的真实性，迄今为止，基本上变化不大。（见图 1）



SSK 直径与振幅的关系,试验频率如下:  
a)1兆赫 b)3兆赫 c)10兆赫 图 1

自从五十年代初期以来，脉冲反射波技术已在超声检测中占统治地位。现在这种技术已在多种场合下有所应用。

——在钢及有色金属工业中用于铸件，锻件及轧材的检验。

——在造船及钢结构上用于对其半成品及焊缝的检验。

——在汽车及飞机工业中用于对旋转体及转向齿轮部件进行检测。

——在塑料工业中，用于测量壁厚及检测焊接的或粘接的接缝。

——用在机加工及电子工程工业中。

——在所有类型的电站中，用于检测承受热应力的压力容器和管道以及监测汽轮机和发电机。

——在化学工业过程中，用于检测产品及监测厂内对腐蚀敏感的元件。

——在科学及研究中用于检测固体及决定分子的特性。

在一九五二年，随着适合于锻件检测设备的发展，在我公司出现了超声波检测技术，那时，用 VSIP5 装置超声检测了第一个锻件。这是一台以有较宽放大器范围为特征的装置，可用于 1-6 兆赫范围内的检测，并且在那时用于检测第一批转子用护环。在一九五五年，它被 VSIP9 代替，频率

选择器可选用 1-2 兆赫及 4-6 兆赫。

在六十年代中期，克劳特克莱米尔研制出 VSIP10，在此系列的第一台装置中，它可允许频率范围进一步变化且可允许特征参数增加及 5 个挡次的脉冲能量选择器。这一装置至今仍用于一些实际用途。十多年后，在一九七一年，市场上出现了 VSIP11，并在八十年代中期，增添了 VSM 和 VSD 系列（见图 2-5）。

在研制设备改进的同时，还试图完成评价缺陷信号及记录波幅的适当手段。早在一九五八年，第一个距离/增益/尺寸的图形（DGS）得以应用，一九八一年，研制出来了幅高记录仪。

在一九五七年，现代化的试块 K1 被国际上用于设备的标定。自一九六八年，探头及检测设备数据板已有采用。从信息值及可比性这些术语来说，各种探头仍然是超声检测的弱点。

若不考虑装置的质量及精度，则人工超声波检测的结果大都取决于探测者。为了消除这一出问题的根源，制造者们已着手在超声波设备上进行一些初级阶段的设计，在这些设备中，扫描可以是全自动的或部分机械化的。第一台这种装置早在五十年代就用于批量产品的检测，如中、厚板材、薄板，管材及棒材毛坯，轨材及焊材。

在六十年代中期，超声波自动检测装置第一次用于锻件（轴类、环类）上，与此相应的适当检测装置同这些半自动或全自动的装置一道使用。它们往往都是浸入式的。如今，这些装置已计算机化，在检测标准件及承受高应力元件上完全自动化操作。

#### 4. 护环的超声波检测

##### 4.1 人工测试

正如早已提到的，克虏伯公司是将超声波技术用于护环检测的开拓者之一。早在近四十年代



图 2

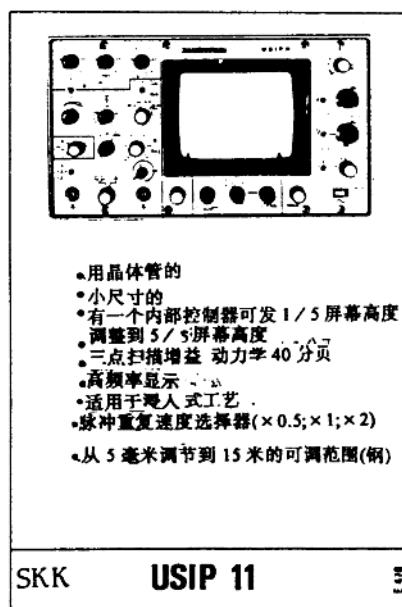


图 3

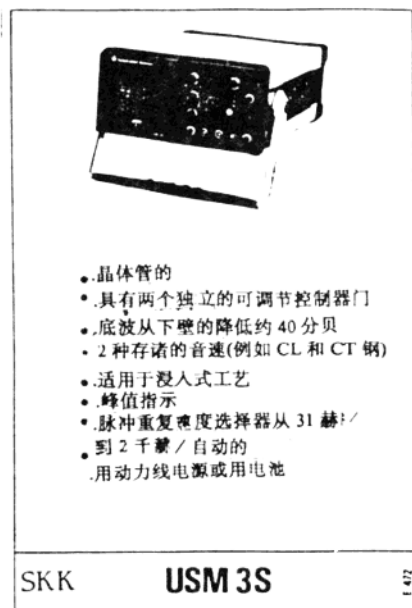


图 4



图 5

后期, 公司就完成了在薄板、轮子, 焊接件及环类件上的实验。图 6 即为那时发表的文章中的图形。在最早出版的“超声波材料检测”手册中, 就有“转子用护环的检测难度”的参考文献。在题为“护环的检测”的一章指出, 如果材料在锻造及冷扩孔过程中“加工”得很好, 在一般情况下, 护环就有一很高的传递系数。然而护环有时出现粗晶点, 而且通过这些粗晶点的传输会相当差, 若用 2 兆赫的斜探头来探测缺陷就会困难得多。在这种情况下, 可使用 1 兆赫的探头。

下一张图表示了自一九五五年到现今的一段时期的原始测试证书。五十年代及六十年代的测试记录仍是一参考依据。因为许多那时生产的护环仍在用, 采用近代超声技术测试中得到的超声波信号常对讨论有所帮助。

当检测的护环是十五年甚至是三十年以前检测的老护环时, 有这样一个概念, 即采用那时制造的设备是不能检测出当量尺寸为  $\Phi 1$ 、 $\Phi 2$  或  $\Phi 3$  毫米的缺陷的, 因为用那时使用的检测工艺及制造方法是不能消除存在的不均匀性的。

我们可以进一步指出, 最初的制造者使用超声波检验主要是为了检测内部缺陷。表面缺陷及深度在表面以下 1—2 毫米的缺陷仅当他们经常出现时, 才可能被生产者予以注意。在表面下面的单个不连续点是次要的。因为这些点可被机加工掉或被发电机生产者去掉。

在锻压车间所进行的测试明显地不同于在使用中所进行的测试。后者主要是涉及表皮或表皮下的缺陷。在运行中, 一般情况下, 内部缺陷是不会产生或有所扩展的。在所有护环的损伤事故中, 即已往十年曾经报道过的事故中, 还没有因为从护环内部的缺陷扩展而引起损伤及造成严重事故的情况。在损伤完全是由于护环所造成的情况下都是由应力腐蚀引起开裂而造成的。也可以说是因为在表皮下的裂纹扩展至超过其临界尺寸所致。



下图表示在五十年代及六十年代超声波检测的质量结果。(图7)

图8表示了对0.2%屈服强度为820牛顿/毫米<sup>2</sup>的护环进行超声波检测的结果, 试验记录指出:

“在底波的情况下存在一明显的反射杂波, 检测未涨型的护环是没有意义的。但在已涨型护环的情况下, 仍可发现有反射杂波, 并且在钻孔处也不能确定微小裂纹的部位。”那时作出的判决为: “在发货之前需进行重复的超声波检测。”在发货之前的探测记录则为“在径向及纵向的检测, 草状波为高度的一半。”

作出的判决为: “护环可以发货”(见图9)。另一例子(图10)为一九五六年生产的具有可比性的护环。超声波检测报告如下: “在距非标记端长100毫米处可见内部的沙眼, 径向的扫描表明砂眼扩大到整个壁厚。”这个判定是“沙眼可通过打磨的办法予以去除。”

在一九五七年, 超声波检测报告包括表示折射声束角度的草图(图11)。但是, 对这些报告内容今天再予复试已无关紧要。

图12和13是一例工厂超声检测的记录及在一九七三年超声检测护环的合格证。

图14和15表示了在一九八七年护环的超声检测的合格证及记录。

早在七十年代初期, 我们公司就开始采用浸入式的超声检测设备测试护环。在最初几年没有记录, 起始值订为屏幕的高度25%。设备由开/闭模块控制。此外, 还观察到头三次底面反射回波, 测量了参考反射器, 并记录了其振幅。当然也可以定性地描述杂波的平均水平。指标及调情情况同样也要予记录。

在过去的八年中, 我公司已采用计算机化的超声检测浸入设备, 在发货前来检测护环。我们的测试技术规范PV-KR1/72, 八五年十二月第五次修订本实际上包括了所有用户提出的技术规范。若用户要求, 还可做其它附加测试。

#### 4.2 浸入工艺

目前, 护环在250MN(25000吨)的压力机上进行达70%的冷胀后再进行检测。出于制造原因及为了证实其可靠性, 对这些护环必须进行各种检测。几乎所有的发电机制造者所用的厂内

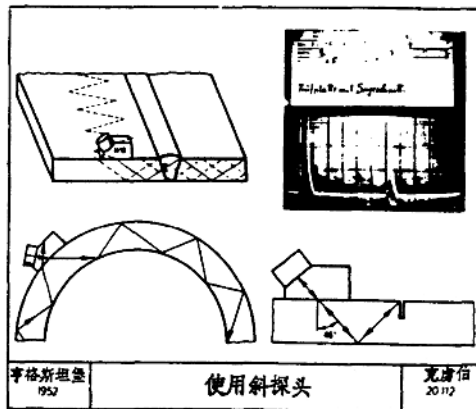


图 6



Anmeldung zur Ultraschallprüfung

1. Auftraggeber: ...  
 2. Auftrag: ...  
 3. Material: ...  
 4. Werkstoff: ...  
 5. Ultraschallprüfergebnis: ...

Unterschrift

SKK 工厂超声波检测记录

图 9

Anmeldung zur Ultraschallprüfung

1. Auftraggeber: ...  
 2. Auftrag: ...  
 3. Material: ...  
 4. Werkstoff: ...  
 5. Ultraschallprüfergebnis: ...

Unterschrift

SKK 工厂超声波检测记录

图 10

Anmeldung zur Ultraschallprüfung

1. Auftraggeber: ...  
 2. Auftrag: ...  
 3. Material: ...  
 4. Werkstoff: ...  
 5. Ultraschallprüfergebnis: ...

Unterschrift

SKK 工厂超声波检测记录

图 11

Ultraschallprüfung

1. Auftraggeber: ...  
 2. Auftrag: ...  
 3. Material: ...  
 4. Werkstoff: ...  
 5. Ultraschallprüfergebnis: ...

Unterschrift

SKK 工厂超声波检验记录

图 12



检测标准和技术要求都规定要进行这些检测(图 16).

发电机的设计及应力对于不同的制造者来说变化是很大的,因而,起始反射器及临界缺陷尺寸是很不相同的。

#### 4.2.1 转子用护环用“半机械化超声检测装置”需要满足特殊要求。

——必须保证不同类型的护环的快速而简单的校准。

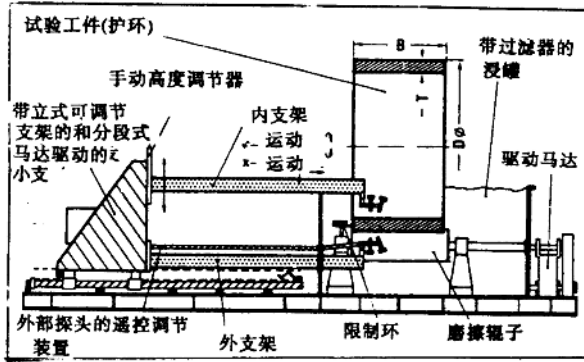
检测——装置必须保证不同全部,准确地覆盖所有的横断面并且提供偶合剂应用的最佳条件。

——生产后检测缺陷部位,测试应包括:

- a) 用直探头(纵波)进行体积检测。
- b) 用斜探头(横波)斜声束检测,依据技术要求,此角度可从 $35^{\circ}$ 到 $60^{\circ}$ 之间变化。
- c) 记录及监测不同晶粒的区域(粗晶区引起声波衰减)。

——所有检测系统须同步运行,结果应记录并做为资料备查,无须对信号值进行评价。

——在最初测试及重要测试中,测试应具有再现性。



检测装置的机械装置图 17

#### 4.2.2 检测系统及检测装置

要根据以上提出的全部要求来设计检测系统。

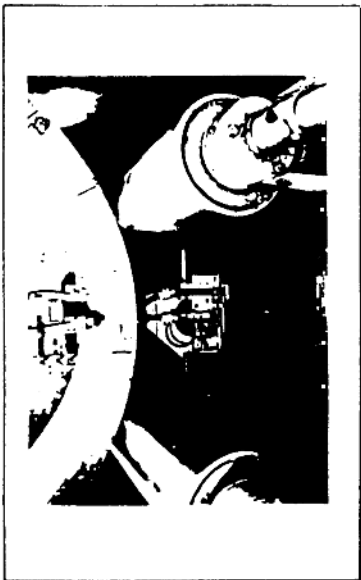
图 17 为设备安装示意图

需进行超声波检测的护环放置在浸入式水箱中的一对圆辊子上。其中之一的辊子由三相交流电动机来驱动。为保证试件在旋转运动中甚至是在高速测试条件下无滑动地传递，要进行特殊的表面处理。驱动速度可以变化，以得到无级变速的测试速度（40—180 毫米/秒）。

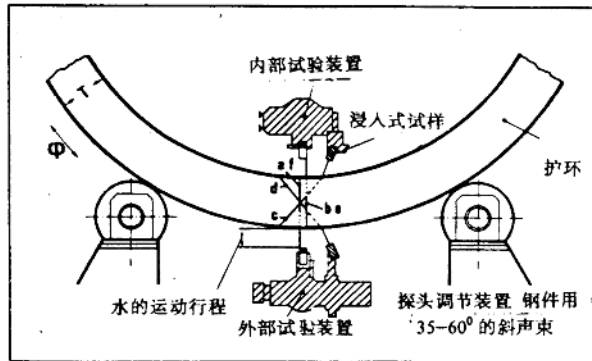
从轴向观察，一个辊子用于向旋转着的试件施加反抗止动辊的力。系统的夹持器（在切向及轴向各有一个直探头和一个  $45^\circ$  斜探头）安置在一极坚固的夹钳似的夹具上，它可在沿护环的圆周方向上不与其相接触下移动探头。夹具被连在检测滑板上。在护环每一周旋转后，借助于微处理机控制的步进马达确定进给运动。探头的进给量（扫描线宽度）可在 1—9 毫米间预选，其精度为  $\pm 0.05$  毫米。

球状悬挂的测试滑板的行程为 1.450 毫米。所有低位探头夹持器的运动都藉助于低速螺旋系统通过检测滑板进行遥控。

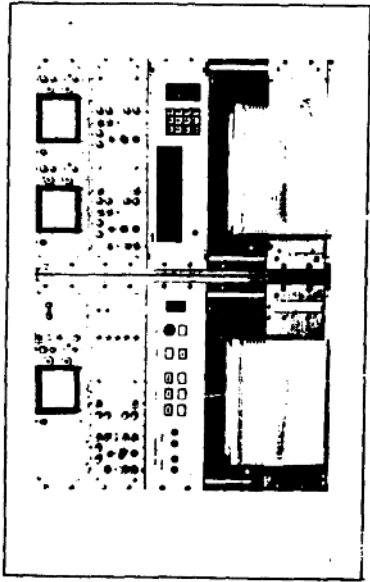
为保证测试系统内部、外部的灵敏度相同，应设置相同的水传递距离，由于仅是上部的操作器可以垂直地调节，这一要求可以通过调整在两个圆柱形辊子之间的间距来予以满足。



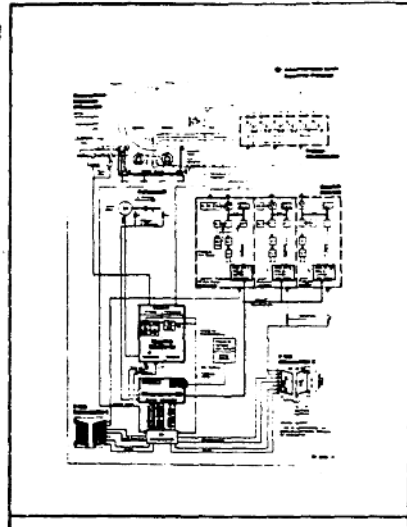
SKK 探头夹持器 图 18



检查护环的超声装置 图 19



SKK 中心控制装置图 20



SKK 电子系统图 21

借助于手轮，可将这一间距调节到规范值，其精确度 $<0.5$ 毫米。这一规范值是根据扩环直径、壁厚、水的传递及中心角度（图 18 及 19）所确定的公式求解而得到的。

水经一沉淀容器供往浸入式水箱中。

水表面的污物可通过撇渣机撇去，它与带有过滤器的循环泵一起联用。

图 20 表示的是中心控制装置。

#### 4.2.3 电子系统

所采用的电子系统是由 KS3000 组件构成的三通道插件。（能见部件图 21）

材料中的不连续的反射回波是通过初级放大器（探头接线柱的盒中）传送到主放大器的。

每一测试系统（直声束、斜声束、切向或轴向的）都有一个具有恰当显示单元的独立的主放大器。

用直探头探测时，夹具和探头夹持器的不可避免的波动以及由于护环壁厚上的任何微小的斜度（内径上）均可通过联接门脉冲与底面反射器的办法来补偿。

在主放大器中被整流和放大的信号通过记录器放大器、模拟累积放大器并最终由双线记录纸记录器最终逐点地予以再现。

中心控制单元中的微处理机控制记录器记录纸的馈入，轨迹的移动，笔的提起，测量标记等等。

#### 4.2.4 试验程序和记录

放置试样到位后，调整探头系统。这要按照公司标准和 / 或有关的订货技术条件进行。对护环直径，护环长度，扫描轨迹的宽度，所需试验速度等参数的要求均输入会话式模块中。计算机

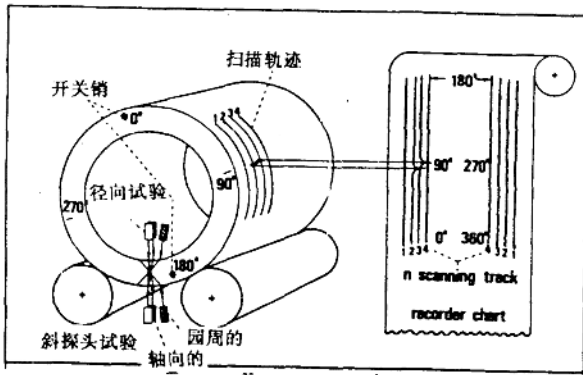
担负所有动作及记录器打印纸的控制。

由于单个探头的同步动作，一次扫描即可进行全部检验，试验系统间都是相互独立地运行，以免发生延误和干扰。

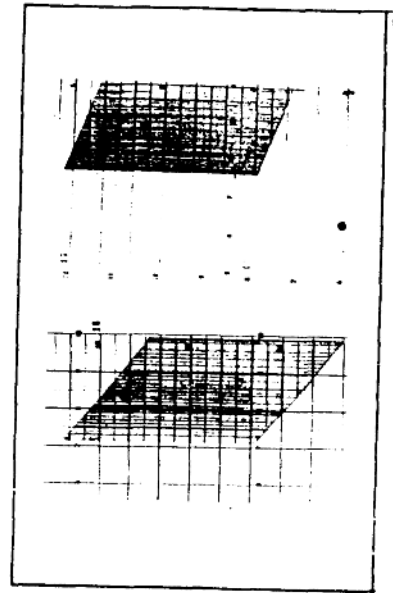
试验过程的记录对最终检验结果和重复试验的进行是至关重要的。

此记录应提供不连续缺陷的准确位置、在圆周方向上不连续缺陷的长度和振幅的高度。

采用的是可馈入双面打印纸的2线打印机。记录工作由两套各自自动的机构进行。计算机控制这些记录器笔的提起，以便一个记录器自动记下0—180°圆周方向内的扫描轨迹时，另一个记录器在反向进给时记下180°—360°的轨迹于记录纸的另一端。(图22)



SKK 记录原则 图 22



SKK 原始试验图 图 23

图23表示给出所有变量完整记录的原始图，这种记录方法提供了另一种优越性，即从被测区域得到的信号被记录在他们相应的真实位置上，并且与时间和振幅成正比。图上轨迹的附加线(类似地形图)给出了具有很高参考价值的记录。由于晶粒的噪音也被记录下来，这就有可能非常清晰地呈现出环壁四周晶粒结构的不同。

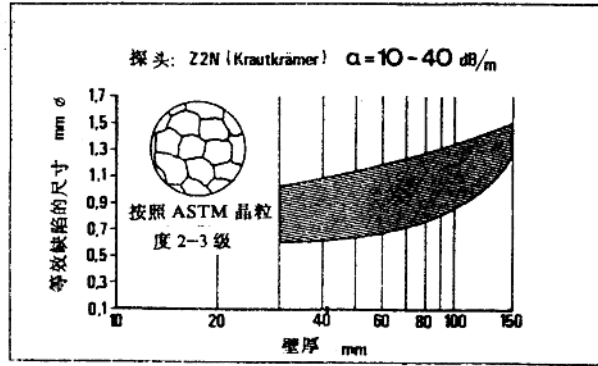
记录器不间断地记录两个直探头的探测结果，交替记录切向和轴向斜探头的探测结果。

为了进行全部护环和部分护环的重复试验，可以按需要将试验参数反复输入计算机中予以重现。这种方法同样适用于再次插入水槽中的护环，因为这些护环都确定了0°的标记。

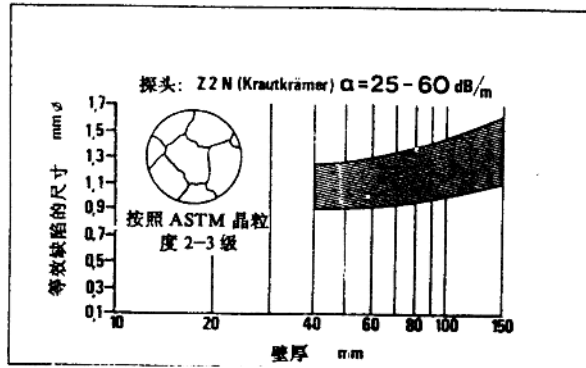
这种试验装置提供了可靠的防护措施，它防止了存在不能允许缺陷的护环的使用(图24和图25)。

图26显示了四极护环的试验装置。





S K K X55MnCr184 和 X 8CrMnN1818 钢的缺陷的可测性 图 24



S K K X55MnCr184 和 X 8CrMnN1818 钢的缺陷的可测性 图 25