

300~600MW 汽轮机  
缸体铸钢件技术条件

1 主题内容与适用范围

本标准规定了 300~600MW 汽轮机汽缸铸钢件的技术要求、检验规则、试验方法、合格证书及标志等。

本标准适用于 300~600MW 汽轮机汽缸铸钢件(以下简称铸件)的订货、制造与检验。

2 引用标准

- GB 222 钢的化学分析用试样取样法及成品化学成分允许偏差
- GB 223 钢铁及合金化学分析方法
- GB 228 金属拉伸试验法
- GB 229 金属夏比(U 型缺口)冲击试验方法
- GB 231 金属布氏硬度试验方法
- GB 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB 4338 金属高温拉伸试验方法
- GB 4792 放射卫生防护基本标准
- GB 6395 金属高温拉伸持久试验方法
- GB/T 11351 铸件重量公差
- JB 4058 汽轮机清洁度标准
- ZB K54 004 汽轮机铸钢件的磁粉探伤及质量分级方法
- ZB K54 007 汽轮机主汽管、汽缸、蒸汽室、进出汽接管及阀壳焊接技术条件
- ZB K54 010 汽轮机铸钢件的超声波探伤及质量分级方法
- ZB K54 038 汽轮机铸钢件技术条件
- ZB K54 039 汽轮机铸钢件补焊技术条件

3 订货要求

3.1 订货时,需方应提供粗加工和探伤图样,并应在双方签署的订货合同书或技术协议书中写明除本标准以外的附加技术要求。铸件应经热处理及粗加工并按图样组焊(如果图样有要求)后交货。

3.2 首批铸件以及制造工艺有重大改变后生产的第一批铸件应附加考核试验,考试试验的内容和要求见附录 A(补充件)。此外,需方认为必要时可以对供应的铸件按考核试验的全部或部分项目进行抽验,抽验结果应符合考核试验的规定。

4 技术要求

4.1 制造工艺

4.1.1 冶炼

铸件应采用电炉钢,也可选用平炉钢,如用户要求采用精炼钢,由供需双方协议。

4.1.2 铸造

不准使用芯撑和内冷铁,如果个别部位需要使用,应征得需方的书面同意。

4.1.3 热处理

4.1.3.1 热处理规范按订货技术协议的规定执行。

4.1.3.2 除性能热处理以外,铸件在粗加工、焊补及焊接以后均应进行除应力处理。除应力处理的上限温度应比性能热处理实际回火温度(规范的平均温度)至少低 15℃,下限温度不应低于回火温度以下 55℃。

4.1.3.3 在特殊情况下,允许对热处理温度稍作调整,此时,供方应在合格证书中注明实际采用的热处理工艺参数。

4.1.4 焊补

4.1.4.1 铸件中不允许存在的缺陷应予以记录,彻底铲除后按 ZB K 54 039 标准的规定进行补焊。

4.1.4.2 最终除应力处理后原则上不得再进行补焊,如有少量缺陷必须补焊,焊后应局部回火并作好记录。

4.2 钢种及化学成分

4.2.1 钢种及熔炼分析的化学成分应符合表 1 的规定。

表 1 化学成分 %

钢 种	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
ZG20CrMo	0.15~0.25	0.50~0.80	0.20~0.60	≤0.030	≤0.030	0.50~0.80	0.40~0.60	—
ZG15Cr1Mo	≤0.20	0.50~0.80	≤0.60	≤0.030	≤0.025	1.00~1.50	0.45~0.55	—
ZG15Cr2Mo1	≤0.18	0.40~0.70	≤0.60	≤0.030	≤0.030	2.00~2.75	0.90~1.20	—
ZG20CrMoV	0.18~0.25	0.40~0.70	0.20~0.60	≤0.030	≤0.030	0.90~1.20	0.50~0.70	0.20~0.30
ZG15Cr1Mo1V	0.12~0.20	0.40~0.70	0.20~0.60	≤0.030	≤0.030	1.20~1.70	0.90~1.20	0.35~0.40

注:① 钢水可采用一般方法脱氧,如用铝进行终脱氧,则残余含铝总量不得超过 0.025%。

② ZG15Cr1Mo 钢中镍的残量不应超过 0.5%;铜的残量不应超过 0.25%;钒的残量不应超过 0.03%;钛的残量不应超过 0.035%。

③ 其他钢种镍和铜的残量均不应超过 0.30%,除技术文件或合同有规定外,一般不作考核。

4.2.2 化学成分的允许偏差

铸件成品分析的偏差应符合 GB 222 中表 2 的规定。

4.3 力学性能

经热处理以后,铸件的力学性能应符合表 2 的规定。

表 2 力学性能

钢 种	$\sigma_{0.2}$ MPa	$\sigma_b$ MPa	$\delta_5$ %	$\delta_{10}$ %	$\psi$ %	$A_{KU}$ J	HB <sup>1)</sup>
ZG20CrMo	≥245	≥460	≥18	—	≥30	≥24	135~180
ZG15Cr1Mo	≥275	≥490	—	≥22	≥35	—	—
ZG15Cr2Mo1	≥275	485~660	—	≥20	≥35	—	—
ZG20CrMoV	≥315	≥490	≥15	—	≥30	≥24	140~201
ZG15Cr1Mo1V	≥345	≥490	≥15	—	≥30	≥24	140~201

注:1) 硬度不作为验收依据。

4.4 铸件质量

## 4.4.1 一般要求

铸件在整个生产过程中应严格控制质量,并认真执行记录制度。

## 4.4.2 表面质量

4.4.2.1 铸件表面不允许有裂纹、粘砂、缩孔、冷隔等影响质量的缺陷。如有上述缺陷应彻底清除,若缺陷清除后壁厚超差,应当进行补焊。

4.4.2.2 非加工面上的浇口、冒口、工艺补贴和铸筋切割后允许的残留高度应符合表3的规定,所有存在的浇口、冒口、工艺补贴、铸筋等残留和切割凹坑的部位应用电弧气刨或砂轮进行精整,使其表面与铸件本体平滑地过渡,不得影响外观质量。

表3 允许残留高度

mm

浇口、冒口、补贴、 拉筋的最大尺寸	≤100	>100~200	>200~350	>350~500	>500~750	>750
允许的残留高度	+3 -2	+4 -3	+5 -3	+6 -4	+7 -5	+8 -5

注:① 凹陷深度不得超过壁厚的允许公差。

② 对含钒钢种的铸件,正偏差允许适当放宽,但不得超过表列数值的50%。

③ 当第4.4.2.2条规定与第4.4.3.2条和第4.4.3.3条有矛盾时,按第4.4.3.2条和第4.4.3.3条的规定执行。

4.4.2.3 铸件机加工面的粗糙度  $Ra$  应达到  $6.3\mu m$ ,以保证超声波探伤能顺利进行。

4.4.2.4 铸件非加工面的粗糙度  $Ra$  应达到  $25\mu m$ ,或用 ACI 4 号样块进行评定。超声波探伤部位应用砂轮打磨,打磨后表面粗糙度  $Ra$  应达到  $12.5\mu m$ ,或用 ACI 3 号样块评定。

4.4.2.5 表面清洁度,高中压汽缸内缸的内壁应符合 JB 4058 中洁-2 的要求,内缸的外壁、外缸的内外壁应符合 JB 4058 中洁-3 的要求。如订货时没有规定,一般不作考核。

4.4.2.6 经粗加工后的表面不允许有超标的铸造缺陷存在。

4.4.2.7 非加工面允许存在的缺陷

4.4.2.7.1 如果单个缺陷的面积小于  $0.5cm^2$ ,两个缺陷间的距离不小于该缺陷最大长度的6倍,缺陷深度小于壁厚的公差,则每  $100cm^2$  ( $10cm \times 10cm$ ) 单元表面上允许有2个上述缺陷,但整个表面上带有缺陷的单元面积总和不得超过检查总面积的1%。

4.4.2.7.2 如果针孔缺陷的直径小于  $1.5mm$ ,每  $100cm^2$  单元表面上的缺陷数量不多于4个,且带有缺陷的单元面积总和不超过检查区域总面积的10%,此种针孔缺陷允许存在。

4.4.3 形状和尺寸公差

4.4.3.1 铸件的几何形状应符合图样的规定。

4.4.3.2 铸件的尺寸公差应符合 ZB K54 038 的规定。

4.4.3.3 铸件的壁厚和筋厚公差应符合 ZB K54 038 的规定,且上偏差为公差值的0.6倍,下偏差为公差值的0.4倍。

4.4.3.4 铸件粗加工表面尺寸极限偏差按图样的规定执行,如图样没有明确规定,应符合表4的规定。

表4 极限偏差

mm

基 本 尺 寸	极 限 偏 差
≤125	±0.50
>125~600	±0.75
>600	±1.50

注:累积尺寸公差总和不应超过总的尺寸公差。

4.4.3.5 铸件的错型值不应超过壁厚的尺寸公差,错型处整理后应圆(平)滑过渡。

4.4.4 重量公差

铸件的重量公差应符合 GB/T 11351 中 MT15 级的规定。

#### 4.4.5 无损探伤

4.4.5.1 铸件应根据探伤图样的规定进行磁粉和超声波探伤检验,需在供方焊装接管的铸件,应按照图样或协议书的规定进行射线探伤检验。

4.4.5.2 铸件中不允许存在的缺陷应予以记录。

4.4.5.3 铸件焊补处仍按对本体规定的质量要求进行无损探伤检查。

### 5 检验规则和试验方法

#### 5.1 化学分析

5.1.1 浇注铸件的钢水应按熔炼炉号逐炉取样进行熔炼分析,试块应在浇注过程中取样,熔炼分析结果应符合表 1 的规定。

5.1.2 化学分析用试样的取样方法按照 GB 222 的规定执行。

5.1.3 化学成分分析方法按照 GB 223 的规定执行。

5.1.4 需方可以在供方提供的附铸试块或在铸件离表面 6mm 以下部位取样进行产品的化学成分分析。

#### 5.2 力学性能试验

5.2.1 铸件应浇注附铸试块。供方交货的每一半汽缸均应带一块附铸试块供需方做验收试验。附铸试块的尺寸由需方提供,其浇注位置由供需双方商定。

5.2.2 附铸试块在热处理前应刻出适当的间隙,以便热处理后容易取下。力学性能试验用的试样应取自附铸试块。

5.2.3 每个 ZG20CrMo、ZG20CrMoV 和 ZG15Cr1Mo1V 铸件取 1 个拉伸试样和 3 个冲击试样。拉伸试验的结果应符合表 2 的规定;3 个冲击试验结果的平均值应符合表 2 的规定,允许其中一个试验结果低于规定值,但不得低于规定值的 1/3。

每个 ZG15Cr1Mo 和 ZG15Cr2Mo1 铸件取 2 个拉伸试样( $\phi 12.5\text{mm}$ )。试验结果均应符合表 2 的规定。

5.2.4 拉伸试验按照 GB 228 的规定执行,冲击试验按照 GB 229 的规定执行。

5.2.5 铸件的布氏硬度按照 GB 231 规定的方法测定。

5.2.6 出现下列情况之一时试验结果无效,应重新制备试样试验:

- a. 试验时试样装夹不当或试验不正常;
- b. 试样加工不当造成缺陷;
- c. 拉伸试样断裂在标距以外;
- d. 试样有铸造缺陷。

5.2.7 力学性能试验结果不合格时允许进行复试。

5.2.7.1 拉伸试验复试应从能代表同一铸件的试块上取样,制备双倍试样进行复试。如果试验结果均符合表 2 的规定,可判为合格,若其中一个试验结果不合格,应对其所代表的铸件连同试块重新进行热处理。

5.2.7.2 冲击试验复试应从能代表同一铸件的试块上取样,制备 3 个试样进行试验。如 3 个试验结果均合格,将初试和复试的 6 个数据加在一起计算平均值,如平均值符合表 2 的规定,可判为合格。若复试中有一个试验结果不合格或重新计算的平均值不符合规定,则其所代表的铸件连同试块应重新进行热处理。

5.2.8 未经需方同意,铸件和试块的热处理次数不得超过 3 次(回火次数不计算在内)。若试验结果仍不合格,该批铸件应予报废。

5.2.9 如附铸试块不足,允许在铸件上采取试样,但取样位置应征得需方的同意。

### 5.3 表面质量检验

铸件的表面质量用目视、比较样块和常规量具按第 4.4.2 条的规定进行检验。

### 5.4 尺寸和重量检验

5.4.1 供方应根据需方提供的图样和第 4.4.3 条的规定检查铸件的形状和尺寸是否符合要求。

5.4.2 铸件的重量公差以尺寸公差来保证,一般不进行检验。若订货合同规定需要检验,则检验结果应符合第 4.4.4 条的规定。

### 5.5 无损探伤检验

#### 5.5.1 磁粉探伤检验

5.5.1.1 磁粉探伤检验在最终热处理后进行。

5.5.1.2 铸件的磁粉探伤应根据探伤图样的要求,由供需双方协议,按附录 B(补充件)或 ZB K54 004 的规定进行。

#### 5.5.2 超声波探伤检验

5.5.2.1 超声波探伤检验在初步精整或粗加工之后进行。

5.5.2.2 铸件的超声波探伤应根据探伤图样的要求,由供需双方协议,按附录 C(补充件)或 ZB K54 010 的规定进行。

#### 5.5.3 射线探伤

缸体的缸头或接管由供方焊接时,应按 ZB K54 007 的规定进行焊接,焊接后,由供需双方协议,按附录 D(补充件)或 GB 3323 的规定对焊接接缝进行射线探伤。

5.5.4 焊补并精整后,用原来规定的无损探伤方法对质量进行检验。

## 6 验收

6.1 供方应有正式的生产过程中各阶段的质量控制与检查记录,包括所用材料合格证、材料质量检验结果和试验设备定期校核的合格证,需方代表可随时查阅上述资料并质疑。

6.2 需方对供方提供的合格铸件有权按图样、技术文件和订货合同中规定的内容和项目验收试验。

6.3 需方已验收的铸件,如随后又发现验收时没有发现的缺陷,精加工后泵水出现渗漏以及复验时结果不符合本标准要求,则铸件的质量问题仍应由供方负责。

## 7 合格证书

7.1 铸件的合格证书应包括以下内容:

- a. 订货合同号;
- b. 零件图号及名称;
- c. 钢号;
- d. 标准号;
- e. 熔炼炉号;
- f. 尺寸检验记录;
- g. 化学成分的实测结果;
- h. 力学性能的实测结果;
- i. 磁粉探伤和超声波探伤检验报告;
- j. 焊缝射线探伤报告;
- k. 热处理状态、热处理实际操作工艺参数及炉批号;
- l. 缺陷焊补记录的副本;
- m. 订货合同中规定的特殊项目检验结果;

n. 供方厂名或其识别标志。

7.2 合格证书应有供方检验部门负责人的签章。

## 8 标志及包装

8.1 铸件检验合格后,用钢印在指定位置标出下列内容:

- a. 订货合同号;
- b. 零件图号;
- c. 熔炼炉号;
- d. 供方或供需双方检验员代号或标记;
- e. 供方厂名或其识别标志。

8.2 需要油漆的铸件应在订货合同中注明,并由需方规定油漆牌号。

8.3 供方应当根据铸件运输的要求进行包装。

## 附录 A

### 铸件考核试验的内容和要求

(补充件)

#### A1 总则

供方生产的首批铸件应按本附录规定的内容和要求进行考核,首批铸件是指开始生产的头四炉铸件。本附录适用于 ZG15Cr1Mo 和 ZG15Cr2Mo1 铸件。

如果供方生产的铸件已经做过考核试验,但制造工艺有了重大的改变,或者产品结构有很大差异,应重新进行考核试验。

如果供方提交需方的铸件虽属首批,但曾为第三方提供过类似的产品并已作了考核试验,供方应将考核试验的结果提交需方审核,经供需双方协议,可以不再进行考核试验。

需方认为有必要时,可以对正常供应的铸件按考核试验的全部项目或部分项目进行抽检,供方应保证所有抽检项目的试验结果符合考核试验的规定。

#### A2 试验内容和要求

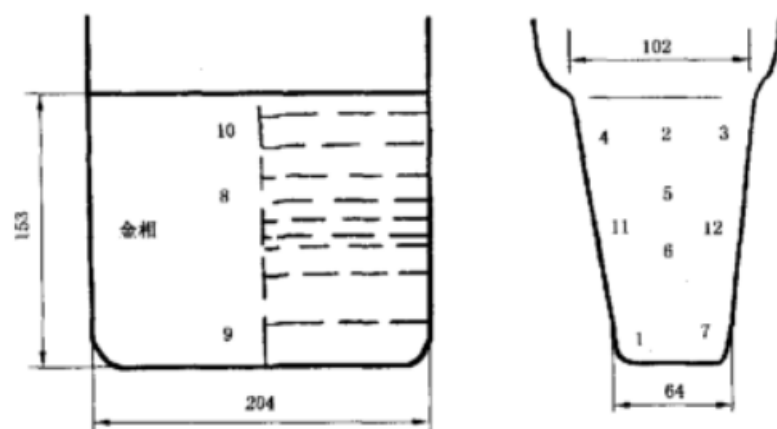
考核试验项目包括化学成分、室温和高温短时拉伸性能、高温持久强度、金相组织和夹杂物评级。

##### A2.1 取样

试验用附铸试块,在头四炉中任选 2 块。

各项试验用的试样(定氢试样除外)在附铸试块上切取,取样位置参见图 A1。

用于化学成分分析的试样在离铸件表面 6mm 以下钻取,定氢试样在钢包中舀取。



试样号

1, 2, 3 室温拉伸试验;

4, 5 对 15Cr1Mo 钢: 510℃、240MPa 持久强度试验;

对 15Cr2Mo1 钢: 566℃、160MPa 持久强度试验;

6, 7 538℃、195MPa 持久强度试验;

8 金相组织和夹杂物评定(中心部位);

9 金相组织和夹杂物评定(表面部位);

10 化学分析;

11, 12 高温短时拉伸试验。

图 A1 试块和试样位置

A2.2 化学成分

除本标准表 1 所列的元素外,应附加测定钢中残余合金元素、有害杂质和气体含量。表 A1 的规定值可作为参考,但不作为验收依据。在汽缸铸件最大冒口连接面的中心位置取样分析碳和硫的含量并注明冒口尺寸。

表 A1 %

Ni,Cu	V	As	Sb	Sn
≤0.25	≤0.03	≤0.025	≤0.0025	≤0.025
Ti	P	S	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
≤0.035	≤0.015	≤0.015	≤0.001	≤0.01

A2.3 力学性能

表 A2 列出了 ZG15Cr1Mo 和 ZG15Cr2Mo1 的室温和高温短时力学性能,表列数值是有代表性的,但不作为考核指标。

室温拉伸试验按 GB 228 的规定执行,高温短时拉伸试验按 GB 4338 的规定执行。

表 A2

钢 种	试样号	试验温度 ℃	$\sigma_{0.2}$ MPa	$\sigma_b$ MPa
ZG15Cr1Mo	3	室温	310	520
	12	538	240	380
ZG15Cr2Mo1	3	室温	310	520
	12	566	280	380

A2.4 高温持久强度试验

从图 A1 所示部位切取两组持久强度试样,按图 A2 加工成光滑和缺口组合试样,按表 A3 的规定进行持久强度试验。

试验按 GB 6395 的规定进行,到试样断裂为止。如果断在缺口断面上,将中间段加工出螺纹,在相同的温度和应力下重新试验到试样断裂为止。缺口处断裂时间与光滑处断裂时间之比应大于 1。如试样断在缺口处,应在试验报告中注明。

若一组试验合格,另一组可以不做。

表 A3

钢 种	试验温度 ℃	应 力 MPa	断裂时间 h	伸长率 %	断面收缩率 %
ZG15Cr1Mo	510	240	≥100	25	50
	538	195	≥100	25	50
ZG15Cr2Mo1	538	195	≥100	25	50
	566	160	≥100	25	50

A2.5 金相和夹杂物检验

在图 A1 的中心部位和靠近表面的一侧取样观察金相组织和夹杂物聚集情况,摄取 100 倍和 500 倍照片。



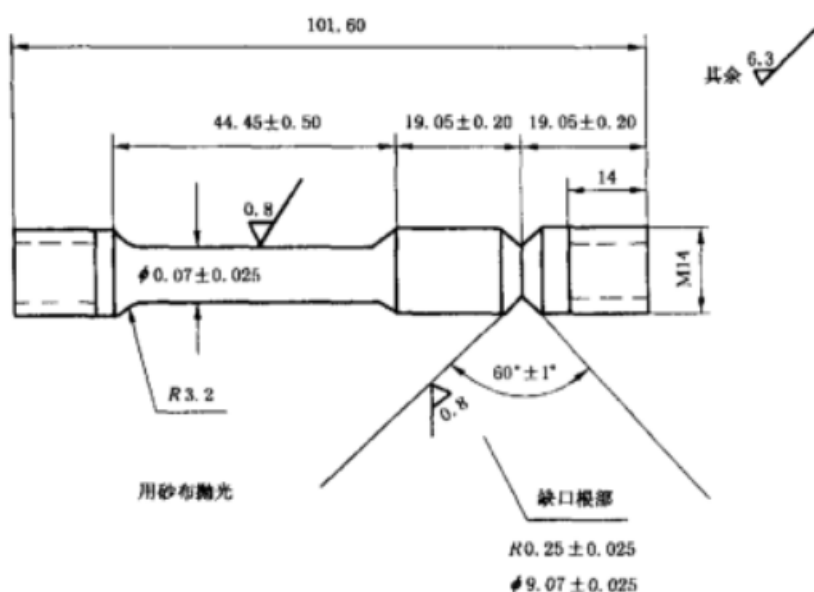


图 A2 光滑与缺口相结合的试样

## 附录 B

300~600MW 汽轮机缸体铸钢件磁粉探伤  
(补充件)

## B1 适用范围

本附录适用于 300~600MW 汽轮机缸体铸钢件磁粉探伤。

## B2 探伤时间

最终热处理后进行最后磁粉探伤。

## B3 探伤面状态

铸件清砂后应进行喷砂处理,使表面光洁,其粗糙度  $Ra$  为  $12.5\mu m$ ,表面应清除油脂、油漆、砂粒附着物、氧化皮等。加工面的表面粗糙度  $Ra$  应达到  $6.3\mu m$ 。

## B4 探伤装置

能够检查出铸钢件表面及表层缺陷的具有足够磁力且可以连续操作的磁化装置。

推荐采用 8000A(CRV-8)三方向全波直流磁化电源设备(3000A 半波整流探伤机仅适用于触头法局部磁化检查)。也可采用满足磁化条件和探伤灵敏度的其他设备。

## B5 磁粉和磁悬液

磁粉及其液体的选择可参见表 B1。

水磁粉配制时需要加调整剂(起防锈、悬浮、湿润作用)。

表 B1

探伤方式	磁粉类别	磁悬液液体	浓度, g/L	备 注
湿 法	红色或褐色磁粉	煤油及其他	5~12	—
	荧光磁粉		0.5~3	优先推荐
干 法	干磁粉		—	适用触头法

**B6 探伤要点****B6.1 磁化方法及磁化电流****B6.1.1 触头法**

磁化电流应为  $HWDC400A/100mm$ , 触头间距不超过 250mm, 对加工面应避免触头直接接触在法兰面上, 可在其侧面通电(离端面约 10mm 处)。

**B6.1.2 联合磁化**

整个工件 3 个方向的电流联合磁化(第 1、2 方向通电, 第 3 方向绕线)。以 A-30/100 型标准试片确定磁化电流。

**B6.2 观察**

使用荧光磁粉要在光线十分暗的场所, 用紫外线灯目视检查缺陷(建议用可移布棚活动暗室)。用非荧光磁粉探伤时, 可在光线明亮场所检查缺陷。

**B7 验收标准**

超过下述条文规定的线性或非线性缺陷时, 铸件不能验收。

注: 线性痕迹是指那些长度至少等于其宽度 3 倍的磁粉痕迹。非线性痕迹是指那些长度小于宽度 3 倍的圆形或椭圆形磁粉痕迹。

**B7.1** 清晰的大于或等于 5mm 线性磁粉堆迹。

**B7.2** 任何长轴尺寸大于 5mm 的非线性痕迹。

**B7.3** 在一直线上分布 4 个或超过 4 个其长轴小于 5mm 的、相互分隔的、距离等于或小于 2mm 的链状非线性缺陷痕迹。

**B7.4** 在任何  $40cm^2$  表面内, 非线性痕迹在其长轴方向的迭加尺寸超过 40mm 并该区的最大尺寸不大于 150mm 的缺陷区。

**B8 处理**

凡超过上述规定的缺陷都应清除, 然后在铲除表面再进行磁粉探伤检查该区缺陷是否清除, 如清除深度大于壁厚公差则应进行补焊。并对补焊区再进行磁粉探伤, 以达到上述验收要求。

**B9 报告内容**

- a. 探伤件图样号及名称;
- b. 熔炼炉号或它的识别号;
- c. 工号;
- d. 探伤机型号;
- e. 磁化方法及规范;
- f. 磁粉及磁悬液规格;
- g. 探伤结果;
- h. 检验日期;
- i. 检查者签名。

## 附录 C

300~600MW 汽轮机缸体铸钢件超声波探伤  
(补充件)

## C1 适用范围

本附录适用于 300~600MW 汽轮机缸体铸钢件的超声波探伤。

## C2 探伤人员

探伤人员必须具有国家主管部门颁发的、并与其工作相适应的资格证书。

## C3 探伤系统

## C3.1 探伤仪

C3.1.1 采用脉冲反射式超声波探伤仪,该仪器应至少具有探伤频率为 1~5MHz,并具备以 dB 为单位的增益调节器或衰减器(误差 $\pm 10\%$ )和距离增益校正装置(DAC 回路)。

C3.1.2 垂直线性范围至少等于 38mm,垂直线性偏差 $\pm 5\%$ 。

C3.1.3 水平线性偏差 $\pm 5\%$ 。

## C3.2 探头

C3.2.1 单晶片直探头的晶片直径为  $\phi 10 \sim \phi 30\text{mm}$ ,频率为 1~5MHz。推荐采用软保护膜探头。

C3.2.2 双晶片直探头的频率为 2~4MHz。

## C3.3 参考试块

C3.3.1 图 C1 所示的参考试块用于铸钢件水平法兰中分面超声波探伤,检查深度 19mm 以内缺陷的探伤灵敏度调节。

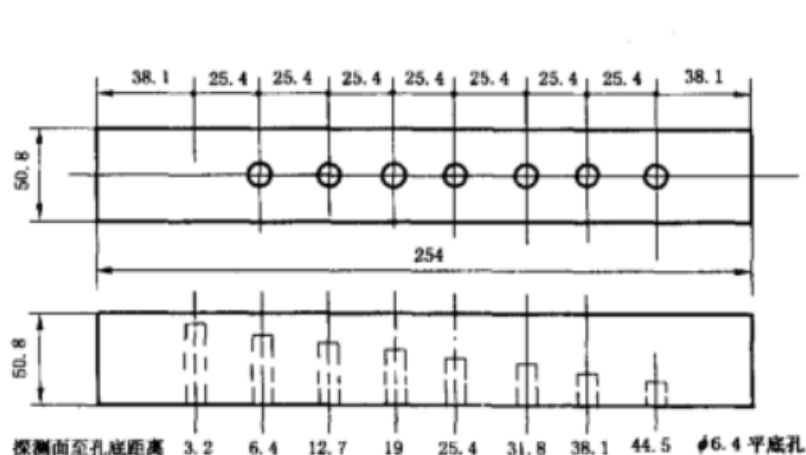


图 C1 检查缺陷深度在 19mm 范围内的参考试块

注：① 材料 ZG15Cr1Mo 正火、回火。

② 试块探测表面的粗糙度  $Ra$  应达到  $6.3\mu\text{m}$  或相当于铸件试验表面的粗糙度。

③ 直径为  $\phi 6.4\text{mm}$  的平底孔,其底面平整必须达到  $0.05\text{mm}$ ,直径公差必须达到  $0.12\text{mm}$ ,孔轴线与试块底面垂直度必须在  $0^\circ \sim 0^\circ 30'$  之内。

④ 平底孔必须堵塞(超声波检查后)。

⑤ 要使用其他试块时在使用前应得到订货厂的批准。

C3.3.2 图 C2 所示的参考试块用于铸钢件其他部位超声波探伤的仪器校正。当铸钢件厚度小于或等

于 76mm 时,可使用 12.7mm,50.8mm,127mm 共 3 块一组的试块;当铸钢件厚度大于 76mm 时,使用 50.8mm,127mm,254mm 共 3 块一组的试块。

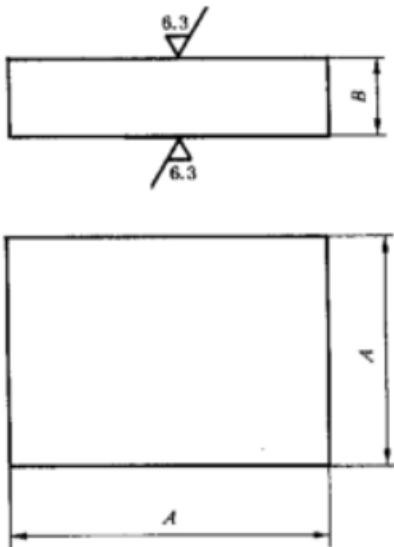


图 C2 试块尺寸  
表 C1

mm	
A	B
50.8	12.7
50.8	50.8
76.2	127
152.4	254

注：① 试块材质与缸体材质相同，正火与回火，其晶粒度尽量均匀与细化。  
② 试块各边平面度、直线度均为 0.025mm，平行度为 0.025mm。

C3.4 耦合剂

对于机械加工表面必须使用中等粘度的机油、马达油或透平油作为耦合剂，对于铸造表面还允许使用水或浆糊作为耦合剂。

C4 探伤时期

C4.1 应在铸钢件精整并经外观检查合格，以及最好在机械加工后进行探伤，但是铸造表面可在机械加工前进行验收检查。

C4.2 超声波的验收检查应在铸钢件最终热处理后进行。

C4.3 补焊区的验收检查应在消除应力后进行。

C5 探伤部位

C5.1 探伤部位

铸钢件的超声波探伤部位应按探伤图样规定。

C5.2 探伤面的准备

C5.2.1 探伤面的表面粗糙度应满足以下要求：

机械加工表面  $Ra$  为  $6.3\mu m$ 。

铸造表面应打磨平整光滑或喷砂， $Ra$  为  $12.5\mu m$ 。

要求直接在铸钢件上调节探伤灵敏度时,则在该部位的背面(底面)表面粗糙度亦应达到上述要求。  
C5.2.2 铸钢件探伤面及背面上影响探伤的物质均应清除。

## C6 探伤方法要点

C6.1 探伤前铸钢件表面应标划 300mm×300mm 方格。

C6.2 采用 2~4MHz 双晶片直探头检查铸钢件水平法兰中分面深度 19mm 以内的区域。铸钢件其他探伤部位原则上以采用 2~2.5MHz 单晶片直探头探伤为主,当材质衰减较大采用上述频率无法探伤时可改用 1MHz 频率进行检查。

## C6.3 探伤灵敏度的调整

### C6.3.1 双晶片直探头探伤灵敏度的调整

使用图 C1 所示参考试块调整探伤灵敏度,应能发现当量直径 6.4mm 的缺陷,调整方法如下:

- 频率旋钮置于对应探头频率的位置,脉冲宽度旋钮置于“低”档,抑制旋钮“关”。
- 扫查深度 19mm 孔,使其反射波最高,并移至示波屏水平刻度 4/5 处。
- 调节深度 19mm 孔的反射波高度至 38mm,以此为标准,测定其他孔的反射波,在示波屏上标记各反射波的高度与各反射波在扫描线上的位置。
- 从深度 3.2mm 孔反射波开始,划一条连接对应于反射波高度各点的连线,以此作为 100% 振幅参考线,连接每一个波高的中间点的连线即为 50%。振幅参考线,见图 C3。
- 振幅参考线确定后不得再调节仪器的控制旋钮。

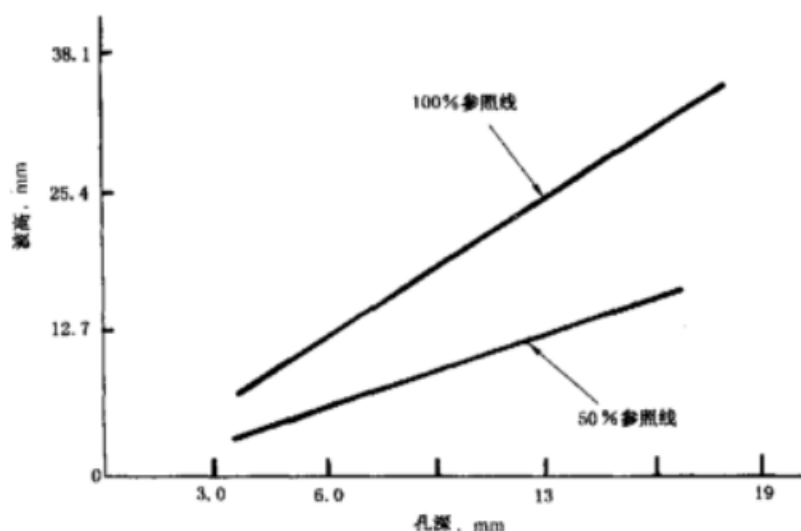


图 C3 检查缺陷在 19mm 范围内用的典型校准曲线

### C6.3.2 单晶片直探头探伤灵敏度的调整

#### C6.3.2.1 探伤仪的校准

- 将仪器频率旋钮置于对应探头频率的位置,抑制旋钮“关”。
- 探头置于铸钢件的探伤部位上调节扫描线,将底波移至离始波的间距不大于水平刻度的 3/4 处。
- 探头置于一组试块中最薄的(12.7mm 或 50.8mm)试块上,使底波调至 38mm 高,并以此高度划一平行于扫描线的平行线。
- 探头置于一组试块中最厚的(127mm 或 254mm)试块上,调节 DAC 回路旋钮,使底波达到 38mm。
- 探头置于一组试块的中等厚度试块上,确定底波高度是否接近 38mm,如果达不到则应重新调

节,并取该试块与最厚试块之间的折中值。

f. 在示波屏上划一条平行于扫描线的直线,其高度为 12.7mm,超过此线的缺陷讯号均应加以记录。

g. 参考线确定后,除去增益或衰减旋钮允许调节之外,其他仪器旋钮不得再调动。

C6.3.2.2 探伤灵敏度的调节

探伤灵敏度的调节在仪器按 C6.3.2.1 条规定的方法校准后进行,其方法如下:

a. 在机械加工表面上探伤时,可将探头置于与底面平行的表面上,调节增益或衰减旋钮使底波高度达 38mm,并再提高 10dB(波高提高 3 倍),以此作为探伤灵敏度。

b. 在铸造表面上探伤时,可将探头置于与底面平行的表面(内外表面)上,调节增益或衰减旋钮使底波高度达 38mm,并再提高 16dB(约 6 倍),以此作为探伤灵敏度。

C6.4 扫描

扫查时,探头移动速度应不大于 150mm/s,并注意观察示波屏上图像。扫查线之间互相重叠应不小于晶片直径的 10%。

C7 缺陷的测定

C7.1 双晶片直探头探伤缺陷的测定

C7.1.1 测定等于和超过 100%振幅参考线的缺陷讯号。

C7.1.2 测定探测面下深度 6.4mm 范围内发现的等于或超过 50%振幅参考线的缺陷讯号。

C7.1.3 缺陷大小(以参考线百分数表示)、深度、缺陷至内壁表面的距离及轴向位置等数据均应测定,并列表加以记录。

C7.2 单晶片直探头探伤缺陷的测定

凡超过 12.7mm 参考线的缺陷讯号应在铸钢件表面上标出,缺陷面积采用半波法(波高降至 6.4mm)进行测定,为便于计算允许划成矩形形状。

C8 缺陷的处理

C8.1 双晶片直探头探伤缺陷的处理

C8.1.1 凡未达到记录水平的反射讯号予以验收。

C8.1.2 凡达到记录水平的缺陷均应去除并进行补焊。补焊区应重新进行超声波探伤,其质量应满足原质量等级的要求。

C8.2 单晶片直探头探伤缺陷的处理

C8.2.1 线状缺陷

凡超过 12.7mm 参考线的所有线状缺陷(缺陷长度等于或大于宽度 3 倍的缺陷称为线状缺陷),无论其质量等级如何,很可能为裂缝或链状夹杂物,应予以去除。

注:线状缺陷按表 C2 规定的第 5 级质量标准 6.5cm<sup>2</sup> 缺陷的起算宽度为 1.5cm,长度为 4.5cm 时,为线状缺陷。

表 C2 单个缺陷的验收条件

质量等级	非线性缺陷最大面积,cm <sup>2</sup>	缺陷位置
0	0	E
5	6.5	E
6	6.5	O
—	13	C
10	19.4	E
11	19.4	O

续表 C2

质 量 等 级	非线性缺陷最大面积, cm <sup>2</sup>	缺 陷 位 置
—	32	C
20	32	E
21	32	O
—	45	C
30	45	E
31	45	O
—	58	C
40	58	E
41	58	O
—	71	C

注：① 非线性缺陷最大面积是指探头中心在铸件表面上的移动面积。

② 缺陷位置中 O=离外壁或内壁 1/3 处, C=中间 1/3 壁厚处, E=整个壁厚内。

### C8.2.2 非线状缺陷

#### C8.2.2.1 单个缺陷

单个缺陷大小应不超过表 C2 规定的限度(所谓单个缺陷是指这个缺陷与其邻近缺陷的距离大于邻近缺陷中最大缺陷尺寸的缺陷)。

#### C8.2.2.2 密集缺陷

密集缺陷应该不超过表 C3 的规定(凡铸件的边长为 50 mm, 立方体内存在 2 个或更多的缺陷讯号称为密集缺陷)。

表 C3 密集缺陷的验收条件

cm<sup>2</sup>

质 量 等 级	累加缺陷面积	所在缺陷区的最小面积
0	0	0
5~6	13	232
10~11	26	232
20~21	39	232
30~31	52	232
40~41	65	232

注：① 累加缺陷面积不考虑在壁厚的位置即中间壁厚 1/3 或内外壁 1/3。

② 每一个等于或高于 12.7 mm 参考的缺陷用半波法测量其面积, 波高 6.4 mm 时为边缘, 连接探头中心线。当无法测定缺陷区时, 每一个等于或高于 12.7 mm 参考线的缺陷应按 0.97 cm<sup>2</sup> 面积的缺陷来累加(即为  $\phi 6.4$  mm 平底孔面积乘上 3 倍的超声波反射损失系数)。

③ 累加的密集讯号面积必须分散的分布, 其分布区域至少在 232 cm<sup>2</sup> 面积内, 否则应补焊以满足所采用的质量等级要求。

C8.2.2.3 两密集区之间的距离必须大于任一密集区内最大缺陷讯号的最长尺寸, 否则具有最大缺陷讯号的密集区应该去除并补焊。

C8.2.2.4 所有缺陷波, 无论探头在铸钢件上移动的范围大小及等级如何, 其穿透深度不得大于铸钢件壁厚的 1/3。

当缺陷的穿透深度大于壁厚的  $1/3$  时,无论探头在铸钢件移动范围大小及等级如何,均应去除。

C8.2.2.5 密集缺陷的修补应按该区域的质量等级要求进行。其他类型的不合格缺陷则应完全去除。

C8.2.2.6 补焊区质量应满足原质量等级要求。

C8.2.2.7 由于缺陷引起底波损失  $75\%$  ( $12\text{ dB}$ ) 或更多,其面积超过质量等级要求,而缺陷波高可能等于或未超过  $12.7\text{ mm}$  振幅参考线,只要确认属非裂纹性缺陷的少量超标,则可与订货厂协商验收。

C8.2.2.8 铸钢件的焊缝坡口端部应符合 0 级质量等级要求。

C8.2.2.9 探伤报告

探伤报告至少应符合以下内容:

- a. 铸钢件名称及图样号;
- b. 炉号;
- c. 试验日期;
- d. 生产编号或合同号;
- e. 仪器型号;
- f. 耦合剂;
- g. 探头种类与规格;
- h. 探伤结果;
- i. 探伤人员签名。

## 附录 D

### 300~600 MW 汽轮机缸体铸钢件结构焊缝射线探伤 (补充件)

#### D1 适用范围

本附录适用于 300~600 MW 汽轮机缸体铸钢件装焊接管等结构焊缝的射线探伤。

#### D2 安全防护

D2.1 工作人员应避免射线的直接照射和散射线的影响。

D2.2 应按照 GB 4792 第 2 章的要求,对探伤人员进行剂量监督。

D2.3 探伤人员应有剂量笔、剂量仪或其他剂量测试装置。在  $\gamma$  射线探伤时,每次都应测定工作场所和  $\gamma$  射线源容器附近的射线剂量,避免受到意外照射。

D2.4 在透照现场应设置安全线。在安全线上应有明显标志,夜间应设置红灯。

D2.5 非探伤人员的接收剂量参考 GB 4792 第 3 章的规定。

#### D3 探伤人员资格

探伤人员必须具有国家主管部门颁发的,并与其工作相适应的资格证书。

#### D4 设备与器材

##### D4.1 射线源

D4.1.1 X 射线机。

D4.1.2 放射性同位素 ( $\text{Co}^{60}$  和  $\text{Ir}^{192}$  等)。

##### D4.2 胶片

D4.2.1 表 D1 列出两类常用工业 X 射线胶片,即低速胶片(L)和中速胶片(M)。



表 D1 工业射线胶片的型号

胶片型号	说 明		
	感光速度	对比度	颗粒度
1"	低速(L)	甚高	甚细
2"	中速(M)	高	细

D4.2.2 表 D2 推荐了使用不同射线源对钢材进行透照并获得 2%灵敏度的胶片选择原则。

表 D2 胶片的选择原则(推荐)

材料厚度 mm	120~150 kV	>150~250 kV	Ir <sup>192</sup>	250~400 kV	1MV	Co <sup>60</sup>	2MV	6~31MV
0~6	M	L	—	—	—	—	—	—
>6~12	M	M	—	L	—	—	—	—
>12~25	—	M	M	M	L	—	L	—
>25~50	—	—	M	M	M	M	L	L
>50~100	—	—	—	—	M	M	M	L
>100~200	—	—	—	—	—	M	M	M
>200	—	—	—	—	—	—	—	M

D4.2.3 当要增加胶片感光速度时,可用 2" 胶片替代 1" 胶片;若需要提高灵敏度,则可用 1" 胶片替代 2" 胶片。

D4.2.4 胶片上应无疵病和污物。

D4.3 增感屏

D4.3.1 采用铅箔增感屏或其他金属增感屏,增感屏上应无污物、划伤、斑痕、凹坑等。

D4.3.2 管电压大于 125 kV 时,前屏的最小厚度应为 0.1 mm;管电压小于 125 kV 时,前屏的最大厚度为 0.1 mm。后屏厚度应至少为 0.1 mm。

D4.3.3 不允许使用荧光增感屏。

D4.4 滤光片

D4.4.1 应使用滤光片减低散射线的影响。

D4.4.2 增感屏可起滤光的作用。

D4.5 像质计

D4.5.1 像质计的规格见表 D3。

表 D3 线型像质计规格

mm

型 号	标 志	使用范围 (穿透厚度)	金 属 丝 编 号 及 直 径								c	d
I	1Fe7	40~120	编 号	1	2	3	4	5	6	7	50	5
			金属丝 直径	3.20	2.50	2.00	1.60	1.25	1.00	0.80		
II	6Fe12	20~50	编 号	6	7	8	9	10	11	12	25 或 50	5
			金属丝 直径	1.00	0.80	0.63	0.50	0.40	0.32	0.25		
III	10Fe16	<20	编 号	10	11	12	13	14	15	16	25 或 50	3~5
			金属丝 直径	0.40	0.32	0.25	0.20	0.16	0.125	0.10		

D4.5.2 像质计的选用应根据透照厚度按表 D4 正确选择像质计。

表 D4 要求显示的最小钢丝直径

mm

穿透的钢材厚度	最小钢丝直径	穿透的钢材厚度	最小钢丝直径
$\leq 6$	0.125	$> 25 \sim 32$	0.500
$> 6 \sim 8$	0.160	$> 32 \sim 50$	0.630
$> 8 \sim 12$	0.200	$> 50 \sim 80$	0.800
$> 12 \sim 16$	0.250	$> 80 \sim 120$	1.000
$> 16 \sim 20$	0.320	$> 120 \sim 150$	1.250
$> 20 \sim 25$	0.400	$> 150 \sim 200$	1.600

#### D4.6 观片灯

D4.6.1 观片灯的漫射光亮度可调,其亮度值应不小于  $30\,000\text{ Cd/m}^2$ 。

D4.6.2 观片灯应带有遮挡影响底片评定的多余光线的遮光板。

#### D5 铸钢件的准备

D5.1 焊缝及热影响区的表面质量(包括余高高度)应经外观检查合格,且焊缝表面与基体金属表面应平滑过渡。表面的不规则状态在底片上的图像应不掩盖焊缝中的缺陷或与之相混淆,否则应做适当的修整。

D5.2 当垫环或垫板不易去除或不会妨碍底片评定时,可不去除。

D5.3 被检工件应经热处理。

#### D6 探伤时期

作为最终验收的射线探伤应在工件热处理后进行。

#### D7 探伤部位

除另有规定外,焊缝应 100% 射线探伤。

#### D8 参照方法要点

##### D8.1 底片的标记

D8.1.1 在每一张底片上均应有明显的标记,包括:

- 制造厂名称或代号;
- 定位标记:中心标记( $\leftrightarrow$ )和搭接标记( $\uparrow$ );
- 识别标记:工件编号、焊缝编号和部位编号以及其他识别标记,返修透照部位还应有返修标记  $R_1, R_2, \dots$  (其脚注 1, 2,  $\dots$  指同一部位的返修次数);
- 透照日期。

D8.1.2 所有标记均需要在底片适当位置显示,并离焊缝边沿至少 5 mm。搭接标记应能准确表明有效透照长度。

D8.1.3 应绘制详细的透照部位草图,草图样上应写明上述标记及其位置,草图上还应写明制造厂名称或代号、工件名称、工件编号、生产编号、图样号及其他易于完整地识别工件的标志。

D8.1.4 工件表面应打上永久性印记作为对每张底片重新定位的依据。工件不适合打印记时,只绘制上述详细的透照部位草图即可。

##### D8.2 射线源、胶片与工件之间的相互位置

D8.2.1 透照时胶片应尽可能地靠近焊缝表面。

D8.2.2 透照时射线源至靠近射线源一侧焊缝表面的距离与焊缝靠近射线源一面至胶片的距离之比应等于或大于 7。

D8.2.3 应取射线穿透厚度最短距离和工件截面变化不大的方向进行透照。当沿此方向透照存在困难时,允许取相应有利于发现缺陷的方向进行透照。推荐的透照方式见图 D1~图 D5。

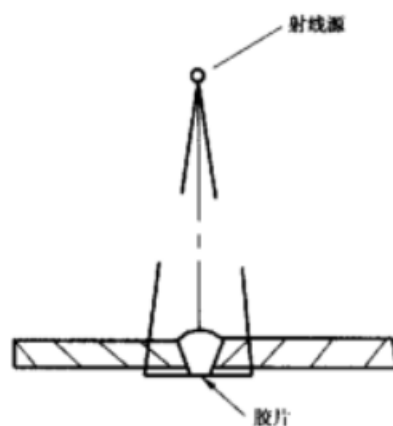


图 D1 直焊缝的透照方式

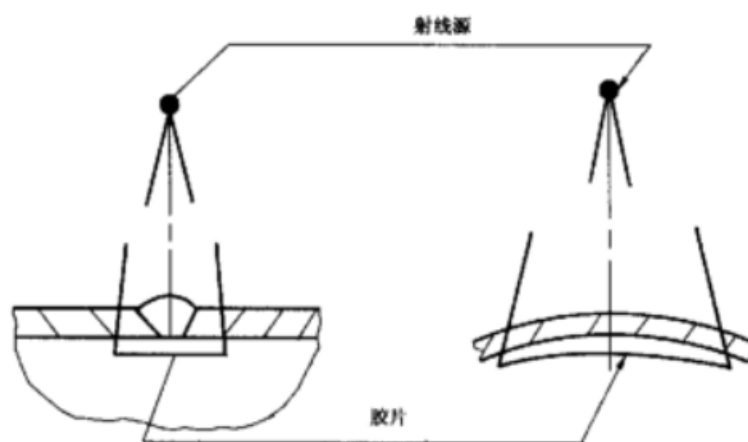


图 D2 环缝单层透照方式

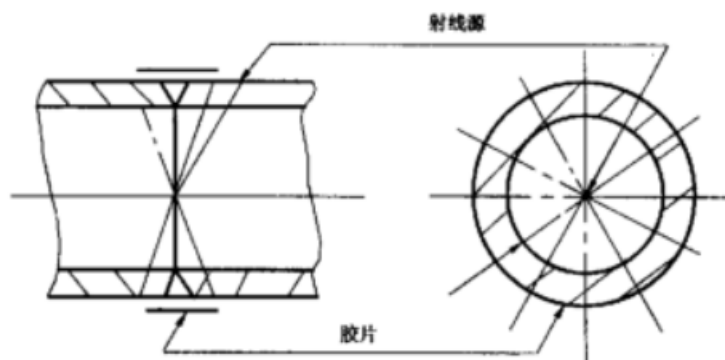


图 D3 环缝单层周向透照方式

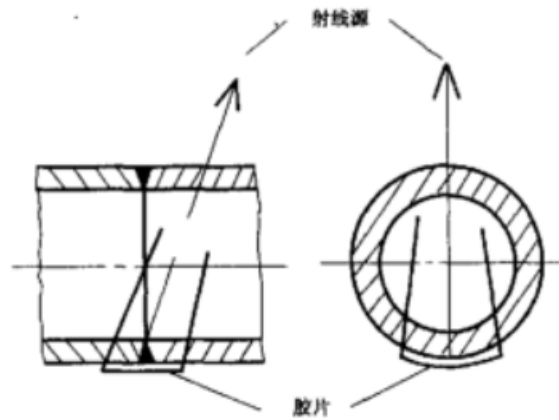


图 D4 双壁单影透照方式

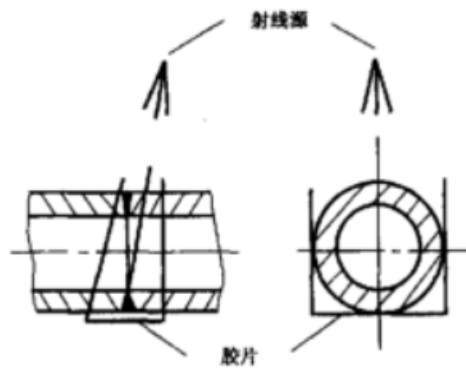


图 D5 双壁双影透照方式

D8.2.4 透照的厚度比值  $K$  一般不大于 1.1。

### D8.3 曝光曲线

应根据设备、胶片和增感屏按具体条件制作或选用合适的曝光曲线,并以此选择曝光规范。

### D8.4 增感屏的放置

装在暗盒内的铅箔增感屏应与胶片紧密接触。

### D8.5 胶片规格与数量

D8.5.1 胶片宽度应至少为焊缝宽度加上焊缝厚度。

D8.5.2 在同一暗盒内允许装有两张以上感光速度相同或不同的胶片。

### D8.6 像质计的放置

D8.6.1 每次透照应至少使用一个像质计。像质计应放在射线源一侧的焊缝表面上有效透照范围的一端(有效透照长度的  $1/4$  部位),钢丝垂直于焊缝,细钢丝置于外侧,如图 D6 所示。

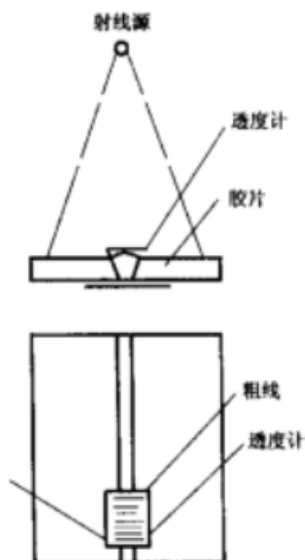


图 D6 像质计的放置

D8.6.2 当像质计无法在射线源一侧放置时,方可将像质计紧贴焊缝表面置于胶片一侧,但必须通过对比试验确认实际透照灵敏度能达到规定的要求。此时,应附加“F”标记以示区别。

D8.6.3 采用射线源置于圆心位置的周向曝光技术时,允许每隔  $90^\circ$  放置一个像质计。

D8.6.4 在透照变截面工件时,如果可能的话,应在最薄和最厚部位各放置一个像质计。

#### D8.7 胶片的处理

除另有规定外,胶片应按照胶片说明书的要求或公认的有效方法进行处理。

#### D8.8 底片质量

##### D8.8.1 黑度

选择的曝光条件应使底片有效评定区域内的黑度最小不低于 1.2,最大不高于 3.5。

##### D8.8.2 灵敏度

底片上应显示出对应于透照厚度的最小钢丝直径(见表 D4)。

D8.8.3 底片上的像质计影像位置正确,各种标记齐全、清晰且不掩盖被检焊缝的影像。在焊缝影像上,像质计钢丝影像清晰可见的长度不小于 10 mm 即认为是可识别的。

D8.8.4 底片有效评定区域内不应存在因胶片处理不当引起的疵病或其他妨碍底片评定的假象。

#### D8.9 底片的观察

评片应在专用评片室内进行。评片室内的光线应暗淡,但不要全黑,室内照明不得在底片表面座上反光。

#### D9 焊缝的验收标准

焊缝不允许存在下列缺陷:

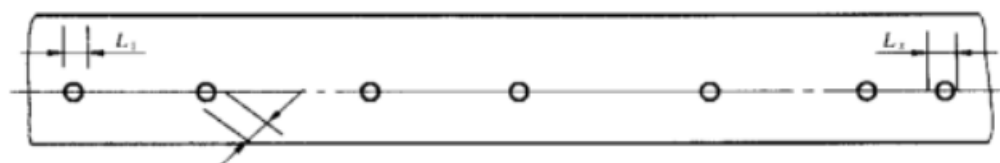
D9.1 任何类型的裂纹、未熔合、未焊透。

D9.2 任何大于以下长度的夹渣:

$T \leq 20$  时为 6 mm;  $20 < T \leq 60$  时为  $T/3$ ;  $T > 60$  时为 20 mm。这里,  $T$  为焊缝厚度(mm)。

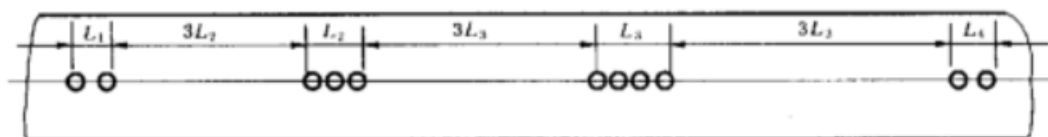
D9.3 任何呈链状分布的夹渣,其总长度在  $12T$  长度焊缝内超过  $T$  者,两相邻夹渣的间距超过  $6L$ 。除外,此处  $L$  为链状夹渣中最长一条夹渣的长度。

D9.4 超过图 D7~图 D14 所示的气孔或点状夹渣。



在长度  $12T$  范围内  $\Sigma L_n \leq T$  ( $T$ —焊缝厚度)

图 D7 沿一条直线上的圆形显示

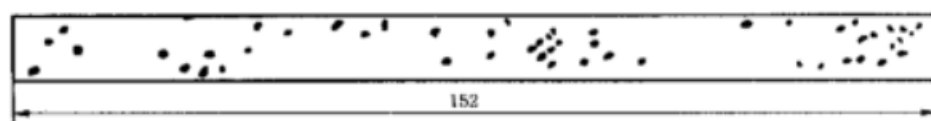


在长度  $12T$  范围内  $\Sigma L_n \leq T$

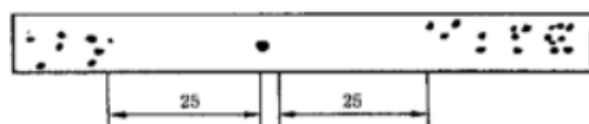
注：① 允许的最长显示群  $L$ ； $T \leq 19$  mm 时， $L = 6$  mm； $19 < T \leq 57$  mm 时， $L = T/3$ ； $T > 57$  mm 时， $L = 19$  mm。

② 显示群之间的最小距离为  $3L_{max}$ ， $L_{max}$  是在  $12T$  范围内的最大显示群的长度。

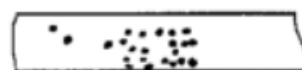
图 D8 在一条直线上的圆形显示群



无规则分布的图形显示

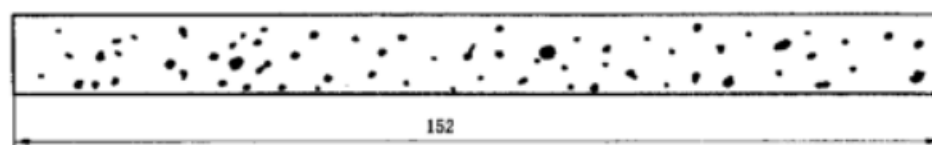


单个显示

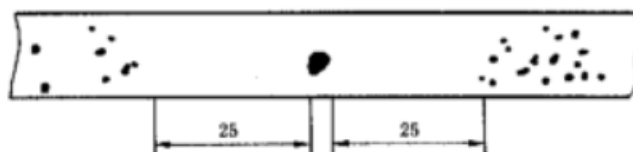


密集显示

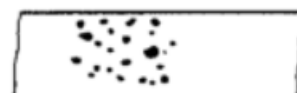
图 D9 焊缝厚度  $3 < T \leq 6$  mm



无规则分布的图形显示



单个显示



密集显示

图 D10 焊缝厚度  $6 < T \leq 10$  mm

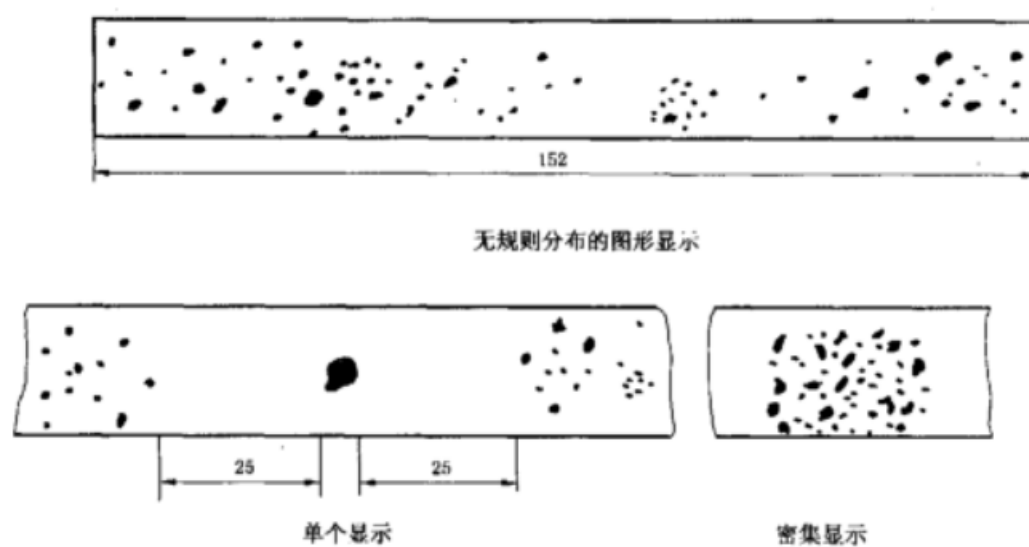


图 D11 焊缝厚度  $10 < T \leq 20$  mm

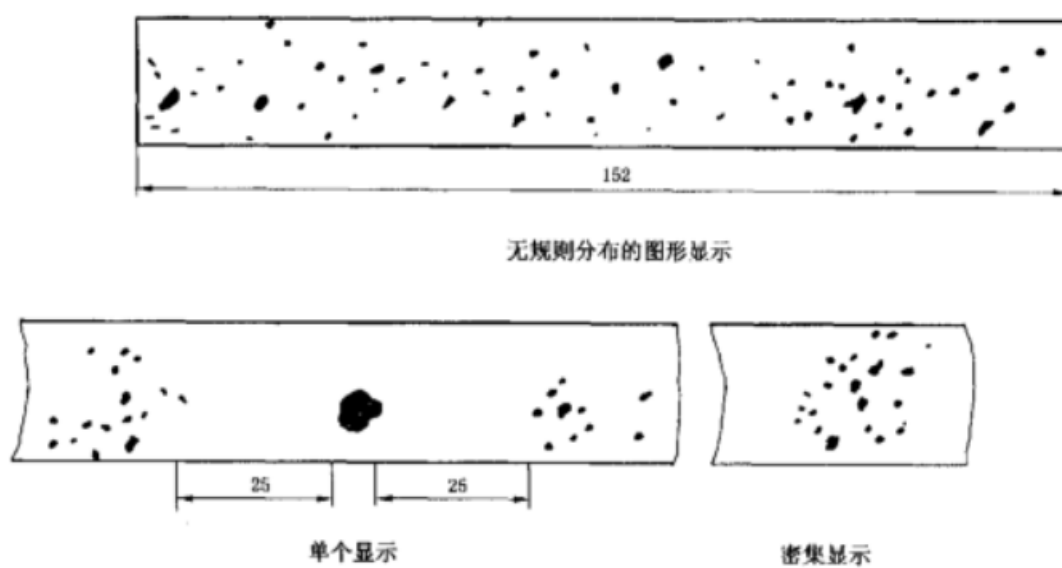
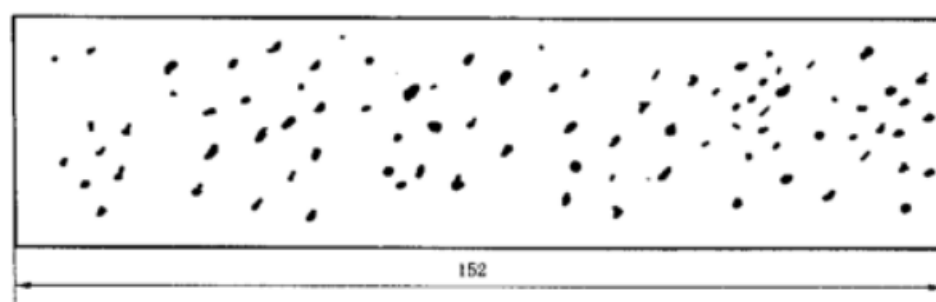
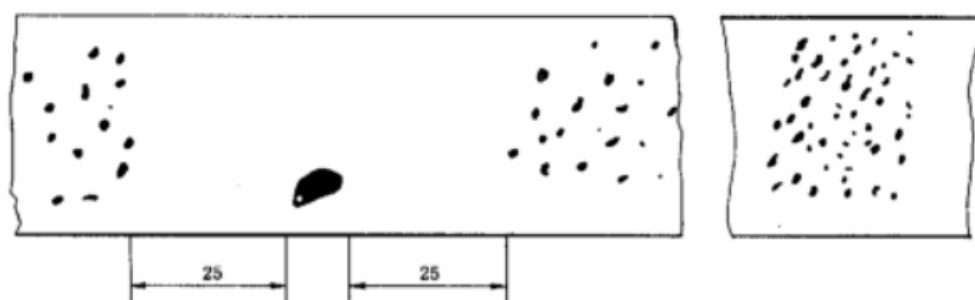


图 D12 焊缝厚度  $20 < T \leq 50$  mm



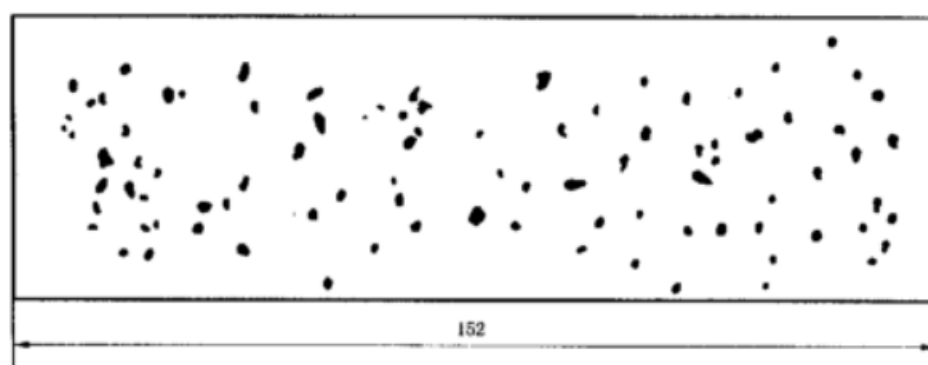
无规则分布的图形显示



单个显示

密集显示

图 D13 焊缝厚度  $50 < T \leq 100$  mm



无规则分布的图形显示



单个显示

密集显示

图 D14 焊缝厚度  $T > 100$  mm



#### D10 补焊区的检查

存在超标缺陷的焊缝经返修并消除应力之后,应按本附录要求对补焊区重新进行射线探伤。

#### D11 记录与报告

##### D11.1 探伤记录至少包括以下内容:

- a. 工件图样号;
- b. 透照日期;
- c. 管电压或射线源;
- d. 管电流及曝光时间;
- e. 仪器型号;
- f. 射线源至胶片的距离(焦距);
- g. 胶片类型;
- h. 胶片的处理过程;
- i. 探伤人员签字;
- j. 其他必要记录的内容。

##### D11.2 根据探伤记录写出探伤报告。

##### D11.3 探伤记录、探伤报告、底片与透照部位草图一并归档,至少保存 15 年。

---

#### 附加说明:

本标准由机械工业部德阳大型铸锻件研究所提出并归口。

本标准由大型铸锻件研究所、杭州工业汽轮机研究所负责起草。

本标准主要起草人陈孝芳、赵敬禄、陈良如、李志萍、周云松。

[www.bzxz.net](http://www.bzxz.net)

免费标准下载网