

# 核电设备材料手册

上册

核工业标准化研究所

一九九一年十月

# 目 录

|                                                                      |         |
|----------------------------------------------------------------------|---------|
| 前 言                                                                  | ( 5 )   |
| <b>H1000(M1000) 非合金钢</b>                                             | ( 13 )  |
| H1100(M1110) 铸 件                                                     | ( 14 )  |
| H1101(M1112、M1115) 2、3 级设备中的承压铸件和主泵电机基座铸件                            | ( 14 )  |
| H1102(M1114) 铸钢蒸汽截止 阀阀体                                              | ( 28 )  |
| <b>H1200(M1120) 锻 件</b>                                              | ( 38 )  |
| H1201(M1121、M1123) 2、3 级设备中管板及辅助泵轴用 16MnHD                           | ( 38 )  |
| H1202(M1121、M1123) 2、3 级设备中管板及辅助泵轴 用 20HD                            | ( 45 )  |
| <b>H1300(M1130) 钢 板</b>                                              | ( 53 )  |
| H1301(M1131) 1、2、3 级设备中非合 金 钢 板                                      | ( 53 )  |
| H1302(M1134) S <sub>1</sub> 、S <sub>2</sub> 级设备中通用结构钢制造的钢板、工字钢材及轧制钢材 | ( 62 )  |
| <b>H1400(M1140) 钢 管</b>                                              | ( 69 )  |
| H1401(M1141) 16Mn 无缝钢管                                               | ( 69 )  |
| H1402(M1141) 2 级设备的 16MnHG 无缝钢管                                      | ( 76 )  |
| H1403(M1141) 20 钢无缝钢管                                                | ( 83 )  |
| <b>H2000(M2000) 合 金 钢</b>                                            | ( 91 )  |
| <b>H2100(M2100) 锰-镍-钼 钢</b>                                          | ( 92 )  |
| <b>H2110(M2110) 锻 件</b>                                              | ( 92 )  |
| H2111(M2111) 承受强辐照的反应堆压力容器筒节用的锰-镍-钼合金钢锻件                             | ( 92 )  |
| H2112(M2112) 不承受强辐照的反应堆压力容器筒节用的锰-镍-钼合金钢锻件                            | ( 102 ) |
| H2113(M2113) 反应堆压力容器过渡段和法兰用的锰-镍-钼合金钢锻件                               | ( 112 ) |
| H2114(M2114) 反应堆压力容器接管用锰-镍-钼合金钢锻件                                    | ( 124 ) |
| H2115(M2131) 反应堆压力容器封头用的锰-镍-钼合金钢锻件                                   | ( 134 ) |
| H2116(M2115) 蒸汽发生器管板用锰-镍-钼合金钢锻件                                      | ( 144 ) |
| H2117(M2116) 蒸汽发生器支撑附件、反应堆压力容器支承座用的锰-镍-钼合金<br>钢锻件                    | ( 153 ) |
| H2118(M2119A) 压水反应堆回路系统蒸汽发生器用的锰-镍-钼合金钢锻件                             | ( 164 ) |
| H2119(M2142) 蒸汽发生器一回路侧用的锰-镍-钼合金钢锻件                                   | ( 173 ) |
| H2120 稳压器用的锰-镍-钼合金钢锻件                                                | ( 182 ) |
| <b>H2130(M2120) 钢 板</b>                                              | ( 191 ) |
| H2131(M2121) 反应堆压力容器压制封头用的锰-镍-钼合金钢板                                  | ( 191 ) |
| H2132(M2126A) 反应堆系统承压边界用的锰-镍-钼合金钢 板                                  | ( 200 ) |

|                     |                           |       |
|---------------------|---------------------------|-------|
| H2133(M2127A)       | 反应堆系统承压边界用的锰-镍-钼合金钢 冲压封头  | (210) |
| <b>H2300(M2300)</b> | <b>镍-铬-钼钢</b>             | (219) |
| H2310(M2310)        | 紧固件                       | (219) |
| H2311(M2311)        | 紧固件用的镍-铬-钼合金钢锻造棒材         | (219) |
| <b>H2400(M2400)</b> | <b>铬-钼钢</b>               | (227) |
| H2410(M2410)        | 紧固件                       | (227) |
| H2411(M2411)        | 蒸汽发生器、稳压器、主泵用的紧固件         | (227) |
| <b>H3000(M3000)</b> | <b>不锈钢</b>                | (235) |
| <b>H3200(M3200)</b> | <b>马氏体不锈钢</b>             | (236) |
| H3201(M3201)        | 压水堆泵A、B、C三级非承压铸造内件        | (236) |
| H3202(M3202)        | 2、3级设备中辅助泵轴锻件             | (247) |
| H3203(M3203)        | 用于蒸汽发生器管子支撑板的钢板           | (252) |
| H3204(M3204)        | 2、3级设备中马氏体不锈钢锻件           | (262) |
| H3205(M3205)        | 用于压紧弹性环的1Cr13 马氏体不锈钢      | (266) |
| H3208(M3208)        | 1、2、3级设备中的马氏体不锈钢承压铸件      | (275) |
| H3209               | 0Cr17Ni14Cu4Nb不锈钢锻件及热轧棒   | (281) |
| H3210               | (M3204改进型)马氏体时效超低碳不锈钢锻件   | (287) |
| H3211               | 马氏体不锈钢铸件                  | (291) |
| H3212               | 用于驱动机构环形杆的1Cr17Ni7Al不锈钢棒材 | (294) |
| H3213               | 用于驱动机构磁极的0Cr13不锈钢锻件       | (297) |
| <b>H3300(M3300)</b> | <b>奥氏体不锈钢</b>             | (300) |
| H3301(M3301)        | 用于1、2、3级设备的奥氏体不锈钢冲压件或锻件   | (300) |
| H3302(M3301、M3302)  | 用于堆内构件的不锈钢锻件              | (308) |
| H3303(M3303)        | 用于热交换器的奥氏体不锈钢管            | (318) |
| H3304(M3304)        | 用于1、2、3级设备的奥氏体不锈钢管        | (324) |
| H3305(M3305)        | 用于主管道安全端的不锈钢锻造管           | (329) |
| H3306(M3306)        | 1、2、3级设备中奥氏体不锈钢锻、轧棒和半制品件  | (338) |
| H3307(M3307)        | 1、2、3级设备中的奥氏体不锈钢板         | (346) |
| H3308(M3308)        | 堆内构件的螺钉类紧固件用不锈钢棒料         | (352) |
| H3314(M3314)        | 1、2、3级设备辅助管路的奥氏体不锈钢卷焊管    | (357) |
| H3316               | 压力容器金属保温层用不锈钢箔            | (361) |
| <b>H3400(M3400)</b> | <b>奥氏体-铁素体不锈钢</b>         | (362) |
| H3401(M3401)        | 用于核电厂主泵蜗壳的奥氏体-铁素体不锈钢铸件    | (362) |
| H3402(M3402)        | 奥氏体-铁素体不锈钢铸件              | (370) |
| H3403(M3403)        | 用于主管道的奥氏体不锈钢铸造弯管          | (379) |
| H3406(M3406)        | 奥氏体不锈钢离心浇铸管——用于主管道        | (393) |
| <b>H4000(M4000)</b> | <b>特殊合金</b>               | (405) |
| <b>H4100(M4100)</b> | <b>镍-铬-铁合金</b>            | (406) |

|                     |                                                      |       |
|---------------------|------------------------------------------------------|-------|
| H4101(M4101)        | 用于压水堆蒸汽发生器传热管的镍-铬-铁合金无缝管                             | (406) |
| H4102(M4102)        | 1、2级设备中镍-铬-铁合金锻、轧件                                   | (414) |
| H4103(M4103)        | 1、2级设备中镍-铬-铁合金热轧板材                                   | (420) |
| H4104(M4104)        | 用于制造堆内构件的螺栓、开口销和螺钉类紧固件的镍-铬-铁合金<br>轧制棒材               | (427) |
| H4105               | 用于压水堆蒸汽发生器传热管的镍-铬-铁合金无缝管                             | (432) |
| H4106               | 用于压水堆蒸汽发生器传热管的镍-铁-铬合金无缝管                             | (440) |
| H4400(M4400)        | 钛和钛合金                                                | (449) |
| H4401(M4401)        | 用于压水堆热交换器钛板                                          | (449) |
| H4402(M4402)        | 用于压水堆热交换器的焊接钛管                                       | (453) |
| <b>H5000(M5000)</b> | <b>其它材料</b>                                          | (459) |
| H5001(M5110、M5120)  | 用于制作1、2、3级设备中螺钉类紧固件、螺母和阀杆的锻<br>造或轧制棒材                | (460) |
| H5002(M5140)        | 螺栓、螺钉、螺母                                             | (474) |
| H5003(M5170)        | 一回路设备支承件用合金钢锻件或冲压件——用于主泵和蒸汽发生<br>器支承件的缓冲器和主泵垂直支承的上凸座 | (490) |
| <b>H6000</b>        | <b>焊接材料</b>                                          | (499) |
| H6100               | 焊接材料对照表                                              | (500) |
| H6200               | 焊接材料的评定                                              | (553) |
| 1                   | 前言                                                   | (553) |
| 2                   | 对焊接材料评定试验的要求                                         | (553) |
| 3                   | 对焊接材料外观、尺寸及物理性能的评定试验                                 | (554) |
| 4                   | 对焊接材料熔敷金属的评定试验                                       | (555) |
| 5                   | 焊接接头的评定试验                                            | (563) |
| 6                   | 复验                                                   | (566) |
| 7                   | 对焊接材料的重新评定                                           | (567) |
| 8                   | 评定报告和有效期                                             | (568) |
| H6300               | 焊接材料的存放和使用                                           | (572) |
| 1                   | 焊接材料的存放                                              | (572) |
| 2                   | 焊接材料的使用                                              | (573) |
| 3                   | 焊接材料使用过程中的识别                                         | (573) |
| <b>H7000</b>        | <b>燃料组件材料(含相关组件)</b>                                 | (575) |
| H7100               | 核燃料                                                  | (576) |
| H7101               | 二氧化铀芯块                                               | (576) |
| H7102               | 三氧化二钍-二氧化铀芯块                                         | (580) |
| H7200               | 中子吸收材料                                               | (583) |
| H7201               | 用于控制棒的银-铜-镉合金                                        | (583) |
| H7202               | 用于控制棒的碳化硼芯块                                          | (585) |

|              |                             |       |
|--------------|-----------------------------|-------|
| H7203        | 用于可燃毒物棒的硼硅酸盐玻璃.....         | (587) |
| H7204        | 用于可燃毒物棒的碳化硼-三氧化二铝芯块.....    | (589) |
| <b>H7300</b> | <b>中子源材料</b> .....          | (591) |
| H7301        | 用于次级中子源棒的铈-铍芯块.....         | (591) |
| H7302        | 用于初级中子源棒的钚-铍中子源.....        | (593) |
| H7303        | 用于初级中子源棒的钷-252中子源.....      | (595) |
| <b>H7400</b> | <b>锆-4合金</b> .....          | (596) |
| H7401        | 用于燃料棒和导向管端塞的棒材.....         | (596) |
| H7402        | 用于燃料包壳的管子.....              | (600) |
| H7403        | 用于控制棒导向管的管子.....            | (603) |
| H7404        | 用于定位格架条带的板材.....            | (605) |
| <b>H7500</b> | <b>镍基合金</b> .....           | (607) |
| H7501        | 燃料组件定位格架用GH169A冷轧带材.....    | (607) |
| H7502        | GH169A弹簧丝材.....             | (609) |
| H7503        | 燃料组件定位格架用600号镍基钎料 .....     | (615) |
| <b>H7600</b> | <b>不锈钢</b> .....            | (617) |
| H7601        | 冷作不锈钢包壳管.....               | (617) |
| H7602        | 用于制造燃料组件导向管和通量测量管的不锈钢管..... | (619) |
| H7603        | 用于制造燃料组件及相关组件的热轧不锈钢板.....   | (622) |
| H7604        | 用于制造燃料组件及相关组件的热轧不锈钢棒.....   | (625) |
| H7605        | 用于制造燃料棒弹簧的冷拉不锈钢丝.....       | (628) |
| H7606        | 沉淀硬化不锈钢棒.....               | (630) |
| <b>H7700</b> | <b>三氧化二铝</b> .....          | (632) |
| H7701        | 用于燃料棒和中子源棒的陶瓷块.....         | (632) |

# 前 言

材料科学是现代科学技术的重要支柱,而工程材料是材料科学中最重要的部分。在核电厂的设计、建造和运行中,对核电用结构材料的选用要求非常严格,这些材料不但要求具有良好的物理和力学性能、具有较小的中子俘获截面以及与反应堆冷却剂相容,而且要求能经得住反应堆内高温、高压、强核辐射的长期考验。这些工程材料的合理使用有着十分重要的意义,关系到核电厂建设的安全性、可行性和经济性。

随着我国核电事业的发展,为加速核电国产化的步伐,形成我国自己的材料系列,为核电设备设计选材、材料采购、设备制造提供一种具有指导性作用的工具书,中国核工业总公司物资局、企管部、核电部、科技部共同组织一院、二院、上海核工程研究设计院、核工业标准化研究所编写了这本《核电设备材料手册》(简称《手册》,下同)。

本《手册》基本按照1983年出版的法国RCC-M的内容与格式,同时参考美国ASME、ASTM等有关标准,尽量列入近年来我国各科研、生产和使用单位研制、生产、采用核电设备材料的性能、加工、检验、包装、运输等方面的数据和要求。

《手册》共分非合金钢、合金钢、不锈钢、特殊合金、其他材料、焊接材料、燃料组件材料和检验方法等八部分,约95万字,内含数据、图表和曲线。

本《手册》分两册出版,其内容及编写分工如下:

上册

|               |           |            |
|---------------|-----------|------------|
| 前言            | 核工业标准化研究所 |            |
| H1000 (M1000) | 非合金钢      | 二院         |
| H2000 (M2000) | 合金钢       | 一院         |
| H3000 (M3000) | 不锈钢       | 上海核工程研究设计院 |
| H4000 (M4000) | 特殊合金      | 一院         |
| H5000 (M5000) | 其他材料      | 二院         |
| H6000         | 焊接材料      | 二院         |
| H7000         | 燃料组件材料    | 上海核工程研究设计院 |

下册

|          |        |                            |
|----------|--------|----------------------------|
| HC册      | 无损检验方法 | 上海核工业无损检测中心                |
| 设备用材适用规范 |        | 一院、二院、上海核工程研究设计院、核工业标准化研究所 |

注:本手册括弧中的数字均为相对应的RCC-M的M册中的编号。

## 1. 纳入《手册》材料的选取条件

- 已制订标准的材料(包括国家标准、行业(部)标准、企业标准);
- 已生产尚未制订标准的材料;
- 已试制生产的材料;
- 已通过鉴定准备推广应用的材料;
- 新研制的材料。

## 2. 编写格式

《手册》中材料以类别为一个独立编写单元，每个独立编写单元按设备用途分别编写，大部分材料以一个牌号为一个独立编写单元，也有以一类材料为一个独立编写单元。每个独立单元分章、条叙述，并列有“采用意见”一栏。

《手册》中的名词术语采用国家标准或有关标准。

《手册》中各种量的名称和符号按照GB3100~3102-86规定书写，单位采用国务院公布的法定计量单位。

## 3. 使用说明

使用本《手册》时应考虑到下述RCC-M规则对编制材料规范的总要求。

### 3.1 RCC-M规则中有关选材的要求

RCC-M规则主要是根据设备或材料的工作环境与使用性能的不同分别进行合理的选择。

3.1.1 根据抗晶间腐蚀性能要求及材料在制造过程中的状况对钢材化学成分提出相应的限制要求。

RCC-M规则把奥氏体或奥氏体-铁素体不锈钢制成的设备及其构件分别归到下列某一组中：

1组：要注意晶间腐蚀的危险，而且材料在固溶处理后，在制造过程中要进行焊接、热成形或450°C以上的热处理，但随后不固溶处理（铸件的焊补应同焊接操作一样对待）；

1'组：要注意晶间腐蚀的危险，而且材料在固溶处理后，在制造过程中只进行厚度不超过3mm的焊接；

2组：要注意晶间腐蚀的危险，但材料在固溶处理后不进行任何焊接、热成形或450°C以上的热处理。

根据上述不同等级的性能要求，RCC-M规则给出了不同的成份范围的限制：

1组：只允许使用超低碳的含 $M_0$ 或不含 $M_0$ 的奥氏体不锈钢以及用钛或铌稳定的奥氏体不锈钢；

1'组：允许使用1组用的钢和低碳奥氏体不锈钢；

2组：允许使用1组和1'组用的钢和含炭量小于0.08的奥氏体不锈钢。

### 3.1.2 对其他残留元素的要求

3.1.2.1 对于接触流体的承压容器构件和被流体浸润的表面积不小于 $1m^2$ 的不承压内部构件，浇包分析（熔炼分析）的钴含量不应大于0.20%，控制量为0.10%，对于那些靠近堆芯，受到强中子辐照的零部件，其最高含钴量应为0.10%。对于被流体浸润的表面积小于 $1m^2$ 的不承压内部构件，不要求检验钴含量。

3.1.2.2 在进行更为全面的补充化学分析时，除规定外的元素，下列元素只允许在通常的残留含量范围内：

a. 同反应堆冷却剂相接触的材料有：铅、汞、硫、磷、锌、镉、锡、锑、铋、砷、铜、稀土（铈、钕）；

b. 与回路水蒸汽相接触的材料有：低熔点元素及其化合物，特别是铅、汞、砷、硫。

因为，要确保反应堆设备的安全，对材料的有害元素必须加以严格控制，将其含量限制在最低范围内。

### 3.2 RCC-M规则中对制订供货技术规范有关内容的指导原则

#### 3.2.1 化学成分

##### 3.2.1.1 与堆内流体接触的不锈钢制件,其钴、铌、钽含量限定如下:

$$\text{Co} \leq 0.20\%; \quad \text{Nb} + \text{Ta} \leq 0.15\%$$

钢中不加铌时,为了便于化学分析,则条件 $\text{Ta} \leq 0.15\%$ 可以用 $\text{Nb} + \text{Ta} \leq 0.15\%$ 代替。

从可焊性考虑,一般不允许加钼,若钢厂为了改善钢的热变形性而须加钼时,其含量不得超过0.0015%。分析的钼含量应列入试验报告。

##### 3.2.1.2 对于下述成分指标必须在产品分析中予以考虑:碳最高含量;铬、镍、钼最低含量;钛、铌或铌+钽最低和最高含量;钴和铝最高含量;硼最高含量。

其余元素,只须在浇包分析时达到要求便可。

对于奥氏体不锈钢,如需首先考虑钢的耐腐蚀性能时,其技术规范在化学成分方面则规定了下述更严格的条件:

a.  $s \leq 0.020\%$ ,  $p \leq 0.030\%$ ;

b. 无钼18-10钢的铬含量:  $\text{Cr} \geq 18.00\%$ ;

c. 加钼2.5%的18-10钢的铬含量:  $\text{Cr} \geq 17.00\%$ 。

#### 3.2.2 钢的冶炼和产品处理

奥氏体不锈钢均用电弧炉或感应炉熔炼。

对产品的处理,要求以固溶急冷处理为正常出厂状态。如规范上有规定,棒材及型材可经冷变形处理。对于未经冷变形而不适用于热加工的薄钢板,最好采用冷轧、固溶、急冷、酸洗、钝化或冷(轧)精整工序。

#### 3.2.3 晶间腐蚀试验

本《手册》对奥氏体不锈钢件的晶间腐蚀试验均按GB4334.5—84《不锈钢 硫酸-硫酸铜腐蚀方法》,敏化处理条件根据设备制造和使用的不同情况而定。

##### 3.2.3.1 RCC-M规则中的敏化处理条件如下:

a. 不含钼的铬-镍钢:敏化处理B,试样加热至700°C,保温30min,在炉内以 $60 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度缓慢冷却至500°C,然后在空气中冷却;

b. 含钼的铬-镍钢:敏化处理B,试样加热至725°C,保温30min,在炉内以 $60 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度缓慢冷却至500°C,然后在空气中冷却;

c. 不含钼18-10型钢:敏化处理A,650°C保温10min,然后将试样淬入水中冷却;

d. 含钼18-10型钢:敏化处理A,675°C保温10min,然后将试样淬入水中冷却。

##### 3.2.3.2 厚度3mm以下的钢板、钢带或钢条,可用敏化处理C(焊接法)代替敏化处理A,如仅针对焊接性能,则焊接后不进行热处理。

#### 3.2.4 可焊性

3.2.4.1 含钼或不含钼18-8型奥氏体或奥氏体-铁素体不锈钢容易焊接。焊接后的热影响区会产生晶间腐蚀敏感性。所以,如与其焊缝相接触的液体会引起晶间腐蚀,则焊接后须进行固溶急冷。

3.2.4.2 从产生晶间腐蚀的危险性考虑,下述钢种不论其焊接厚度如何,都视为可焊而不须焊后处理:

a. 超低碳18-10型钢;

b. 加钛或铌稳定的18-10型钢。

碳、钛、铌的限量及铬的最低含量按3.2.1及有关技术规范的规定。须在缓慢敏化处理后进行晶间腐蚀试验，以防焊接后可能引起晶间腐蚀敏感性的危险。

3.2.4.3 从产生晶间腐蚀的危险性考虑，低碳18-10型钢视作可焊性钢。在下述特殊条件下可不进行固溶急冷处理：

a. 电阻焊（点焊、滚焊等）；

b. 用下述方法焊接的厚度不超过3mm的钢板、钢带或钢管：

在惰性气体下用或不用金属填料的电弧焊接；

用带药皮的填料焊条进行的电弧焊接。焊缝只焊一道（至多只准焊两道，不准多次焊接）。

但对超过3mm的低碳18-10型不锈钢，并非所有厚度可以焊接而不经焊后热处理。当可能引起晶间腐蚀的介质与焊缝接触时，必须予以充分注意。

### 3.2.5 机械性能

#### 3.2.5.1 基本术语解释

| 符 号            | 术 语     | 定 义                               | 单 位 |
|----------------|---------|-----------------------------------|-----|
| $\sigma_b$     | 抗 拉 强 度 | 拉力试验中，所能达到的最大工程应力                 | MPa |
| $\sigma_{0.2}$ | 屈 服 强 度 | 材料承受载荷时，当其永久形变达到0.2%时的应力          | MPa |
| $\delta$       | 延 伸 率   | 作拉力试验时，所用试样拉断后，其标距部分所增加的长度和原标距的比率 | %   |
| $\psi$         | 断面收缩率   | 在拉力试验时，试样拉断后，其拉断处横截面积的缩减量和原截面积的比率 | %   |

3.2.5.2 截面不超过6400mm<sup>2</sup>长锻件的产品和锻件的半制品，其机械性能指标采用钢棒的机械性能指标。

3.2.5.3 用以制造承受高应力的机械部件或受压容器的不锈钢，须规定室温残余伸长0.2%的最低条件屈服极限，并在工厂试验中予以证实。

3.2.5.4 奥氏体不锈钢经固溶急冷后的机械性能相当于充分退火的机械性能（断裂延伸率及冲击值高，屈服极限最低）。如在接近850°C的温度下进行长时期退火，这一类的退火处理会改善某些钢的机械性能。但在进行这一处理时要考虑到这类钢的显微组织中含有一定比例的铁素体，因此这类钢在800~950°C长期停留会出现 $\sigma$ 相，使钢变脆。在这种情况下，必须进行冲击试验。冲击值最低不得低于62J/cm<sup>2</sup>。

#### 3.2.6 铸件

3.2.6.1 铸造、浇铸、回火、冷却等方式通常由铸造厂（或车间）选定。用户应向铸造厂（或车间）指出铸件上具有重要作用的某些部位，铸造厂（或车间）应采取各种措施保证这些部位更为完好。

凡不作整体射线照相检查的铸件，在选定射线照相检查区后应在铸件图上注明。

名义直径≤25mm的2级阀门，不得用铸钢。

3.2.6.2 如批量制造铸件，可采用制造样件以验证制造方法。在样件上进行能将整个铸件

检查齐全的无损检测。

任何情况下,待焊边缘按1级严重程度进行检测,2级设备零件的接管按2级严重程度,其余部分按3级严重程度;3级设备零件按3级严重程度。

射线照相检验是基础检验。只在除去外观检查或浸透检验发现缺陷后,才进行射线照相检查。即使不能将缺陷完全清除,打磨的垂直深度也限制在壁厚的5%以内,最深不得超过10mm。打磨区应平滑地与邻近表面连接。射线照相检查后,可继续打磨直至将缺陷清除。

不能100%进行射线照相检查时,最低限度按MC3200的规定进行检查,并按MC2000的规定用超声波进行补充检查。应作出铸件检查图。

在整个焊补过程之前,进行无损检测。铸造厂(或车间)可提出:样件经可能修补后作为批量中的制品。

无损检测不能有效地整体检查或不能可靠地断定样件的质量时,可进行破坏试验。

如果根据试验结果认为必须改变铸造方式时,则每次采用的新方式应重复上述试验。

3.2.6.3 如铸件由分别熔炼的几炉钢铸成,炼钢厂(或车间)应提供每一炉次的化学分析数据。

3.2.6.4 铸件试料由与铸件相连的小锭块或由分开铸造但在热处理前与铸件相连的小锭块组成。试料的尺寸应足以截取规定试验或可能复试所需的试样。试料截面的最小尺寸,除铸件最大壁厚小于28mm外,应为铸件的最大壁厚(法兰和轴套除外)。在此试料上,试样轴线离表皮的距离至少应为铸件最大厚度的四分之一,不得小于14mm,但不大于60mm。试料小锭块的尺寸及由小锭块上截取试样的图纸,应列入制造程序。

3.2.6.5 奥氏体不锈钢铸件通常用电弧炉或精炼炉冶炼。

3.2.6.6 不锈钢铸件必须遵照本《手册》中规定的成分范围,并要符合:  $\text{Cr} \leq 21.00\%$ ,  $\text{Si} \leq 1.50\%$ 。

3.2.6.7 低碳18-10型和含钼2.5%的低碳18-10型铸钢件,厚度不超过50mm者,其机械性能可参照下列规定值:

抗拉强度 $R_m(\sigma_b) \geq 480\text{MPa}$ ; 屈服强度 $R_{0.002}(\sigma_{0.2}) \geq 210\text{MPa}$ ; 伸长率 $A(\delta) \geq 35\%$ ; KCU个别值 $\geq 80\text{J/cm}^2$ 。

3.2.6.8 铸件以热处理状态交货。制造程序中应确定所有热处理的实施方式。

奥氏体不锈钢或奥氏体-铁素体不锈钢的铸件,一般在可能进行的焊补前进行固溶急冷。除另有规定外,焊补后不要求作固溶急冷处理。

铸件所经历的热处理过程应予记录。铸造厂对这些记录应作分析、整理,并列入热处理试验报告。

3.2.6.9 铸件经全面热处理完成后,进行磁粉探伤或渗透检查。检查前零件应仔细清砂和修整,冒口、支撑件、浇注口、分型线及浇道等须予去除。对零件进行外观检查。机加工过程中须检查所有表面,以证实良好的金属质量。铸件应完好无损,不允许有气孔、疏松、缩孔裂纹、尖砂或其它有损于使用性能的缺陷存在。

非合金钢和低合金钢铸件,表面探伤按MC5000的规定进行磁粉探伤:

a. 2级设备零件在加工后的可检查表面上,以及经磨削后,在其外表面衔接区域及待焊边缘;

b. 3级设备零件不要求作磁粉探伤。

不锈钢按MC4000规定进行渗透检验:

- a. 2级设备零件(阀门除外)的连接平面区,所有外表面衔接区及待焊边缘;
- b. 3级设备零件不要求作渗透检验。

如上述检查在零件上发现有超过标准的缺陷,该零件不予验收,并按“缺陷区域清除和整修”的规定执行。

3.2.6.10 零件热处理后,除另有规定外其内部缺陷检查均应按MC3200的规定进行射线照相检查。但如热处理为消除应力处理时,在处理前进行射线照相检查。射线照相检查除按MC3200规定外,尚有下列补充规定:

a. 接管端的检查区长度(阀门的特殊情况除外),从铸件端部线起至少为厚度的三倍(不强求超过75mm);

b. 建议铸造厂(或车间)在检查前尽量加大粗加工量,以减少检查后的加工量。

零件验收按下述判定标准:

- a. 待焊边缘在所有情况下均按1级严重程度;
- b. 阀门接管均按2级严重程度;
- c. 零件的其余部分按3级严重程度。

不论严重程度的级别如何,不得有任何裂缝、裂纹、支撑件残片、内冷件残片等典型缺陷存在。

3.2.6.11 外观、磁粉或渗透探伤检测的表面缺陷,只要该处的厚度能符合图纸规定的公差范围,且打磨后不损害该区的使用能力,则可用砂轮打磨。磨削时,须避免局部过热,并打磨区应平滑地与邻近表面相连。

对检查发现的超限缺陷,可用磨削、锤凿、气弧刨后磨削将其清除(非合金钢或低合金钢铸件,在气弧刨处理前应将零件加热至120°C)。缺陷清除后要按有关规定进行焊补整修。

3.2.6.12 如果工厂化学分析结果以及化学检查分析结果中碳、铬、钼各含量均能符合该铸件规范规定的指标,及如加铌稳定的铸钢件,其含量符合 $Nb \geq 10C\%$ 条件者,该铸件可不规定进行任何晶间腐蚀试验(即使有所规定,也仅作参考)。

### 3.2.7 锻造比

#### 3.2.7.1 定义

在零件各部位,锻造方向是锻造过程中最大伸长的方向。

零件称作纵向锻造还是横向锻造,系根据锻造方向是平行于铸锭轴线,还是垂直于铸锭轴线而定。

锻造比表示制件每个部位上,锻造前与锻造后在平行于锻造方向上测得的金属件长度之比。

下面确定了有关主要锻造方式的锻造系数:

##### a. 拔长

钢锭截面或拔长前的坯件截面与拔长后坯件截面之比;

##### b. 镦粗

镦粗后零件的平均直径与镦粗前零件的平均直径之比;

##### c. 芯棒锻造

原始坯件横向截面与锻造后制件的截面之比;

#### d. 拉拔或挤压

拉拔或挤压前后坯件长度之比;

#### e. 平板

纵向锻造比: 每次锻造后与锻造前的坯件长度之比; 横向锻造比: 每次锻造后与锻造前的坯件宽度之比。

#### 3.2.7.2 总锻造比

纵向总锻造系数, 等于每次锻造系数的乘积。

零件的横向锻造比在锻坯时定为1.2, 锻板时定为1.5。

零件的总锻造比是制品的纵向和横向锻造系数的乘积。

在平板的特殊情况下, 平板的总锻造比为扁锭块的厚度与最终板厚之比。

#### 3.2.7.3 压扁或锻扁的特殊状况<sup>1)</sup>

在施加平行于锭块轴向的力以进行压扁或锻扁时, 其锻造比为压扁或锻扁后的坯件截面与原坯截面之比, 或等于厚坯件高度与压扁或锻扁后坯件高度之比。

习惯上, 零件的总锻造比等于原始锻造比与压扁或锻扁比平方根的乘积。

注: 1) 在锻造过程中, 坯件如经中间锻粗, 在确定总锻造比时, 不予考虑此中间锻粗的锻造比。

#### 3.2.8 支承件

支承件分为两级: 即S<sub>1</sub>级和S<sub>2</sub>级。支承件的级别是随被支承设备的定级而变化的。

1级设备或部件的支承件为S<sub>1</sub>级。

2级或3级设备或部件的支承件为S<sub>2</sub>级。

当级别不同的两个或两个以上的设备或部件共用一个支承件时, 应按要求最严的那一级设备或部件定级。

鉴于设计方面(接头形式和受力状况)的因素, 对支承件应考虑层状撕裂的危害性。因此, 对其所用板材应要求保证厚度方向(z向)的性能。

支承件的用材必须考虑晶间腐蚀的危险, 因此, 只能使用超低碳奥氏体不锈钢, 或含稳定元素的奥氏体不锈钢。

#### 3.2.9 见证件(验证试块)

验证试块系取自零件或钢板验收试料的多余部分。验证试块应保存至提交制造结束报告的日期。

验证试块为:

锻件: 与验收试料相同的条件下截取的多余金属。

铸件: 与验收试验延伸部分尺寸相同的一个或多个延伸件。

钢板: 位于验收用钢条的留存基体金属。

这些试块应能截取在与验收试样相同条件下的试样。如属钢板, 则尽量接近钢板宽度的四分之一处。

应该注明: 验证试块的标志、取向和验收试样间的相对位置及其尺寸。

验证试块须能进行一组验收试验。如可能, 验证试块应能代表零件或钢板成品热处理的状态。

#### 3.3 本《手册》中有关HC××××部分均需查阅《手册》下册中“HC 无损检验方法”。

本《手册》系初版, 水平有限、缺乏经验, 如所采用的名词、术语、符号、代号、单位和

格式等，均有不统一之处，内容上可能有遗漏、甚至错误的地方。恳请读者批评指正。我们将通过手册的不断修订再版，逐步改进，使它更完善，更富有实用价值。

在《手册》编写过程中，参加审查、组织、协调的单位和同志很多，恕不一一署名，谨在此表示深切的谢意。

本《手册》由核工业总公司物资供销局总工程师陈正琛同志负责技术审核，核工业标准化研究所负责汇总、协调、编辑和出版工作。

**核工业标准化研究所**

一九九一年五月二十日

H1000(M1000)

# 非合金钢

编写：罗桂龄 姚利贞 王 崢 邵 江  
校对：周书若  
校核：徐玉明 张芝和  
审核：张敬康

# H1100(M1110)

## 铸 件

# H1101(M1112、M1115)

## 1. 2、3级设备中的承压铸件和主泵电机基座铸件

## ZG230-450H(20MN5M、20M5M、23M5M、20CD4M)

### 1 适用范围

本规范适用于可焊非合金钢焊接的承压铸件和压水堆主泵电机基座的非合金钢可焊铸件。

### 2 冶炼

用电弧炉或其它相当的冶炼工艺冶炼。

### 3 化学成分

#### 3.1 规定的化学成分见表1。

表 1

| 元素              | 化 学 成 分(%)                                          |
|-----------------|-----------------------------------------------------|
| C <sup>1)</sup> | ≤0.20                                               |
| Si              | ≤0.50                                               |
| Mn              | ≤1.20                                               |
| <sup>2)</sup> S | ≤0.035                                              |
| P               | ≤0.035                                              |
| 其 它             | Ni≤0.30; Cr≤0.30; Cu≤0.30; Mo≤0.15; V≤0.03; 总和≤0.80 |

注：1)实际碳含量比表中碳上限每减少0.01%，允许实际锰含量超出表中锰上限0.04%，但总超出量不得大于0.20%。

2)一般工程用材料的硫、磷含量为≤0.04%，若用于核工业上，由于冲击性能的提高，需将硫磷含量降低到≤0.035%。若用于主泵电机基座，硫磷含量要降低到<0.030%。

#### 3.2 化学成分检验

化学分析按GB223《钢铁及合金化学分析方法》的规定进行。

### 4 制造

参照：GB7659及RCC-M M1112; M1115。

#### 4.1 制造程序

开始制造前, 制造厂通常须制定如下的制造程序:

- a) 钢的冶炼工艺;
- b) 铸造工艺;
- c) 零件的供应图; 如试料与零件相连接, 图中需包括试料在零件中的位置;
- d) 热处理工艺;
- e) 在试料上截取试样的平面图。

按时间先后为序列出热处理、取样、无损检测及焊补等各个操作过程。

#### 4.2 铸造

钢的铸造工艺由供方决定。

#### 4.3 机加工

零件按供货外形图所标注的尺寸进行机加工。

#### 4.4 交货状态

铸件应以热处理状态交货, 热处理工艺由供方决定。常用热处理类型有:

- a. 退火;
- b. 正火;
- c. 正火加回火 (回火温度不低于550°C)。

同一铸钢牌号, 同一熔炼炉号, 同炉热处理的铸件为一批。

当热处理炉容量较小时, 在热处理工艺固定和热处理质量稳定的条件下, 用同一类热处理炉分炉热处理的铸件, 允许按同炉热处理的铸件处理。

### 5 机械性能

#### 5.1 性能指标见表2。

表 2

| 试 验 项 目             | 试 验 温 度<br>(°C) | 性 能                           | ZG230-450H |
|---------------------|-----------------|-------------------------------|------------|
| 抗 拉                 | 室 温             | $\sigma_s$ (MPa)              | $\geq 230$ |
|                     |                 | $\sigma_b$ (MPa)              | $\geq 450$ |
|                     |                 | $\delta_5$ (%)                | $\geq 22$  |
|                     |                 | $\psi$ (%)                    | $\geq 35$  |
|                     | 300             | $\sigma_{0.2}^{(1)(2)}$ (MPa) | $\geq 210$ |
| KCV冲击 <sup>3)</sup> | 0               | 最小平均值(J/Cm <sup>2</sup> )     | $\geq 50$  |
|                     |                 | 个别最小值(J/Cm <sup>2</sup> )     | $\geq 35$  |

注: 1) 规定载荷下, 承载5分钟后残余伸长0.2%的条件屈服极限。

2) 每组三块试样中, 至多一个结果低于最小平均值方可验收。表中的高温性能及冲击性能取自 RCC-M, M1112, 为核级设备的要求。一般工程用材料的冲击性能为: KCV $\geq 31$ J/Cm<sup>2</sup>。

3) 主泵电机基座的冲击性能要求为: 0°C时最小平均值 $\geq 70$ J/Cm<sup>2</sup>+40°C时 $\geq 85$ J/Cm<sup>2</sup>。参照 RCC-M M1115。

#### 5.2 取样规定

a) 化学分析用试样按GB222《钢的化学分析用试样取样法及成品化学成分允许偏差》的规定制取。

b) 拉伸和冲击试样应在力学性能用试块上制取。

试块的形状、尺寸、浇注方法和试样切取位置应符合GB5676《一般工程用铸造碳钢》的规定。但附铸试块的附铸部位一般由供方决定，如果需方有特殊要求，则由供需双方协商。

试块与它所代表的一批铸件应同一熔炼炉号，同一铸钢牌号，并同炉热处理。

c) 拉伸试样选GB6397《金属拉伸试验》中直径10mm的短比例试样（试样号R）。

d) 冲击试样选标准试样。

e) 当试块数量不足时，允许从同批铸件上取样试验。取样部位由供方决定，性能指标由供需双方协商。

### 5.3 试验

#### 5.3.1 项目及数量

a) 每熔炼炉号取一个化学分析试样。

b) 每批铸件取一个拉伸试样和三个冲击试样。

#### 5.3.2 复验取样数量

a) 力学性能检验结果，符合机械性能表2中要求时为合格，不符合要求时，允许对不合格的试验复验。

b) 拉伸试验复验，应从同批试块上取两个试样。

c) 冲击试验复验，应从同批试块上取三个试样。

d) 当力学性能试样断面上有铸造缺陷，或试验操作失误时，该试验结果无效。应从同批试块上另取一试样试验。

#### 5.3.3 实施方式

##### 5.3.2.1 室温抗拉试验

a) 拉伸试验按GB228《金属拉伸试验方法》的规定进行。

b) 拉伸试验复验，应从同批试块上取两个试样，每个试样的试验结果均应符合机械性能表2中的规定。

c) 当炼钢炉容量不大于500kg时，在冶炼工艺稳定和化学成分波动较小的条件下，一但内由同一炼钢炉冶炼的各炉同牌号铸钢所浇注的铸件，允许按同一熔炼炉号的铸件处理（只适用于力学性能检验）。

##### 5.3.3.2 高温保载5分钟后验证残余伸长0.2%的条件屈服极限：

a) 试样：

试样与室温抗拉试样相同。

b) 试验：

按GB4338的规定进行试验。

应验证卸载后残余伸长不超过原标记长度0.2%的值，记下残余伸长并记入试验报告。

试验继续进行直至试样断裂；记下抗拉强度和断裂延伸率作为资料保存。

c) 结果：

试验结果应符合规定的指标，若试验结果不能达到规定的指标，则按5.3.2中的规定处