

# 德新钢管(中国)有限公司 SA-335M P91 无缝钢管评定报告

编 制: 刘广兴 2011.12.22  
审 核: 张永春 2011.12.22  
批 准: 常 勇 2011.12.22



哈尔滨锅炉厂有限责任公司材料研究所

2011年12月22日

项目名称: ASME SA-335M P91 无缝钢管评定报告

项目委托单位: 德新钢管(中国)有限公司

项目承担单位: 哈尔滨锅炉厂有限责任公司材料研究所

项目参加人: 刘广兴 徐世斌 唐信萍 申雷 葛秋荣

编 制: 刘广兴

审 核: 穆振芬

批 准: 谭舒平

## 目录

|                   |   |
|-------------------|---|
| 1 前言.....         | 1 |
| 2 钢管理化性能测定.....   | 1 |
| 2.1 化学成分分析.....   | 1 |
| 2.2 常温力学性能试验..... | 1 |
| 2.3 高温拉伸性能测定..... | 2 |
| 2.4 高倍检验.....     | 2 |
| 2.5 高温蠕变断裂试验..... | 3 |
| 3 结论.....         | 4 |

## 1 前言

哈尔滨锅炉厂有限责任公司材料研究所就德新钢管(中国)有限公司(以下简称德新钢管)提供的 ASME SA-335M P91 大口径热扩无缝合金钢管进行性能评定。

钢管规格:  $\Phi 559 \times 22\text{mm}$ , 供货状态: 正火+回火;

本评定报告, 评定依据为 HG CG506-2009A、GB5310-2008 与 ASME SA335M。本报告主要是对 ASME SA-335M P91 大口径样管进行评定试验, 主要包括化学成分测定、金相分析、力学性能试验及高温持久试验等。

## 2 钢管理化性能测定

### 2.1 化学成分分析

采用直读光谱分析仪测定样管化学成分, 化学成分符合 ASME SA-335M P91 标准要求, 分析结果见表 1。

表 1 原材料样管化学成分 (wt%)

| 项目             | C%        | Si%       | Mn%         | P%           | S%           | Cr%       | Ni%         | W%    |
|----------------|-----------|-----------|-------------|--------------|--------------|-----------|-------------|-------|
| 23#            | 0.11      | 0.26      | 0.44        | 0.013        | 0.005        | 8.54      | 0.19        | 0.001 |
| SA-335M<br>P91 | 0.08-0.12 | 0.20-0.50 | 0.30-0.60   | $\leq 0.020$ | $\leq 0.010$ | 8.00-9.50 | $\leq 0.40$ | —     |
| 项目             | V         | Mo%       | Ti%         | Cu%          | Al%          | Nb%       | B%          | As%   |
| 23#            | 0.22      | 0.85      | 0.003       | 0.03         | 0.006        | 0.08      | 0.0004      | 0.011 |
| SA-335M<br>P91 | 0.18-0.25 | 0.85-1.05 | $\leq 0.01$ | —            | $\leq 0.04$  | 0.06-0.10 | —           | —     |
| 项目             | Pb%       | Sn%       | Sb%         | Bi%          | Zr%          | O%        | N%          | —     |
| 23#            | 0.001     | 0.008     | 0.001       | 0.001        | 0.002        | 0.0033    | 0.0402      | —     |
| SA-335M<br>P91 | —         | —         | —           | —            | $\leq 0.01$  |           | 0.030-0.070 | —     |

### 2.2 常温力学性能试验

对无锡德新钢管有限公司提供的大口径无缝钢管样管进行了拉伸性能试验、系列冲击试验以及硬度试验, 拉伸试验采用 ASTM 标准圆棒试样, 试样取样位置为纵向, 原材料样管常温拉伸试验按 ASTM E8 标准进行, 试验结果分别见表 2~表 3。

表 2 原材料样管拉伸试验(纵向)

| 序号                | 试验温度 (°C) | Rp0.2 (MPa) | Rm (MPa)   | A (%)     | Z (%) |
|-------------------|-----------|-------------|------------|-----------|-------|
| 1                 | 常温        | 560/580     | 705/715    | 22/24     | 75/75 |
| HG<br>CG506-2009A | 常温        | $\geq 415$  | $\geq 585$ | $\geq 20$ | —     |

表 3 原材料样管横向冲击试验及硬度试验

| 序号             | 试验温度 (°C) | 冲击韧性(KV2, J) |     |     | 硬度试验       |
|----------------|-----------|--------------|-----|-----|------------|
| 1              | 常温        | 198          | 186 | 166 | 210HBW     |
| 2              | 0         | 176          | 170 | 186 | —          |
| 3              | -20       | 150          | 146 | 176 | —          |
| HG CG506-2009A | 常温        | ≥27          |     |     | 190~250HBW |

## 2.3 高温拉伸性能测定

对德新钢管提供的 P91 样管进行了系列高温拉伸试验, 拉伸试验采用 ASTM 标准圆棒试样, 试样取样位置为纵向, 拉伸试验方法按 E21 标准进行, 试验结果分别见表 4。

表 4 原材料样管拉伸试验(纵向)

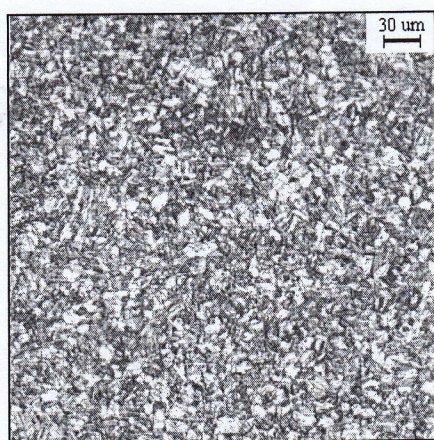
| 序号 | 试验温度 (°C) | Rp0.2 (MPa) | Rm (MPa) | A (%) | Z (%) |
|----|-----------|-------------|----------|-------|-------|
| 1  | 600       | 380/395     | 390/400  | 29/38 | 90/90 |
| 2  | 625       | 340/355     | 345/360  | 32/33 | 92/93 |
| 3  | 650       | 315/315     | 320/320  | 31/32 | 93/94 |

## 2.4 高倍检验

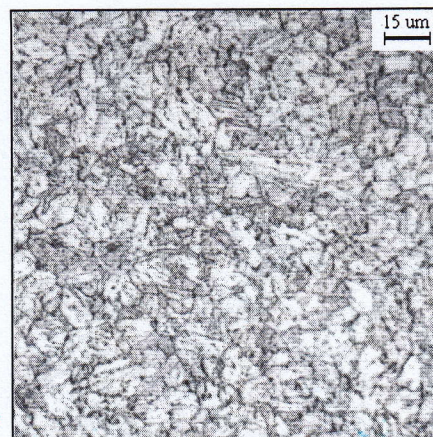
对德新钢管提供的 P91 样管进行显微组织、晶粒度及非金属夹杂检验, 检验结果见表 5, 显微组织及非金属夹杂物形貌分别见图 1 与图 2 所示。

表 5 德新钢管生产 P91 样管金相检验

| 编号                | 非金属夹杂物 |      |      |      |      | 显微组织  | 晶粒度                     |
|-------------------|--------|------|------|------|------|-------|-------------------------|
|                   | A 类    | B 类  | C 类  | D 类  | Ds 类 |       |                         |
| 23#               | 0      | 0.5  | 0    | 1.0  | 0    | 回火马氏体 | 7、8 级                   |
| HG<br>CG506-2009A | ≤2.0   | ≤2.0 | ≤2.0 | ≤2.0 | ≤2.5 | 回火马氏体 | 晶粒度为 4~9 级,<br>级差小于 3 级 |



a) 200X



b) 500X

图 1 样管显微组织

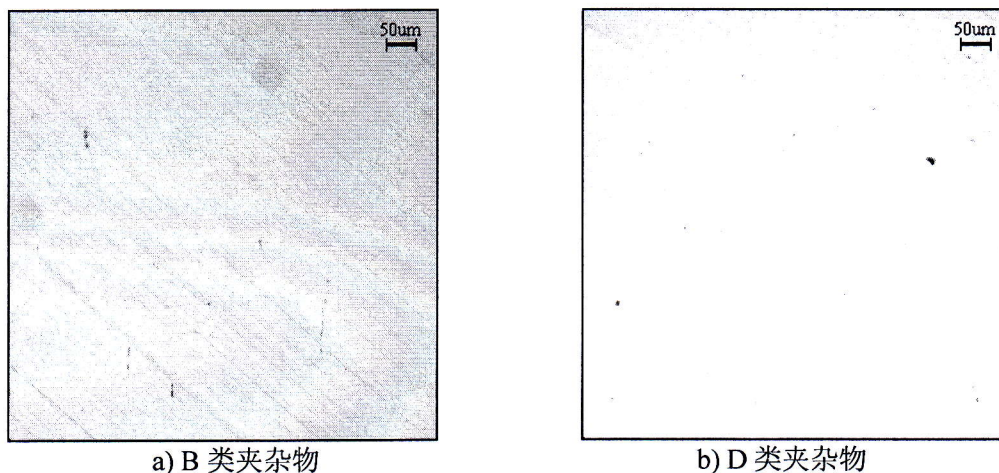


图 2 样管非金属夹杂形貌

德新钢管提供的 P91 样管非金属夹杂检验与金相组织检验均符合 HG506-2009A 与 GB5310-2008 标准要求。

## 2.5 高温蠕变断裂试验

本高温持久试验是采用横向圆棒试样，在 625℃ 进行试验，试样规格为 Φ5.0 圆棒状试样，经过在不同加载应力下所测得的断裂时间，如表 6 所示，并根据应用 Origin 对蠕变断裂试验数据进行分析与处理，得出 P91 在持久强度外推曲线图，如图 3 所示。

表 6 P91 样管在 625℃ 下的持久试验

| 序号 | 加载应力,MPa | 断裂时间   | 序号 | 加载应力,MPa | 断裂时间         |
|----|----------|--------|----|----------|--------------|
| 1  | 180      | 23.8h  | 7  | 120      | 1607h        |
| 2  | 170      | 24.8h  | 8  | 110      | 2253.4h      |
| 3  | 160      | 66.8h  | 9  | 105      | 5112.5h      |
| 4  | 150      | 100h   | 10 | 100      | 12922.5h(未断) |
| 5  | 140      | 307.6h | 11 | —        | —            |
| 6  | 130      | 574.4h | 12 | —        | —            |

采用 Origin 软件对试验数据进行非线性拟合，拟合公式为： $yscale(Y) = A + B * xscale(X)$ ，拟合后结果如下表 7 所示：

表 7 持久试验数据拟合参数

| Name | Value    | Standard Error | Adj. R-Square: -0.98602 |
|------|----------|----------------|-------------------------|
| A    | 2.36981  | 0.01021        | —                       |
| B    | -0.09268 | 0.00368        | —                       |

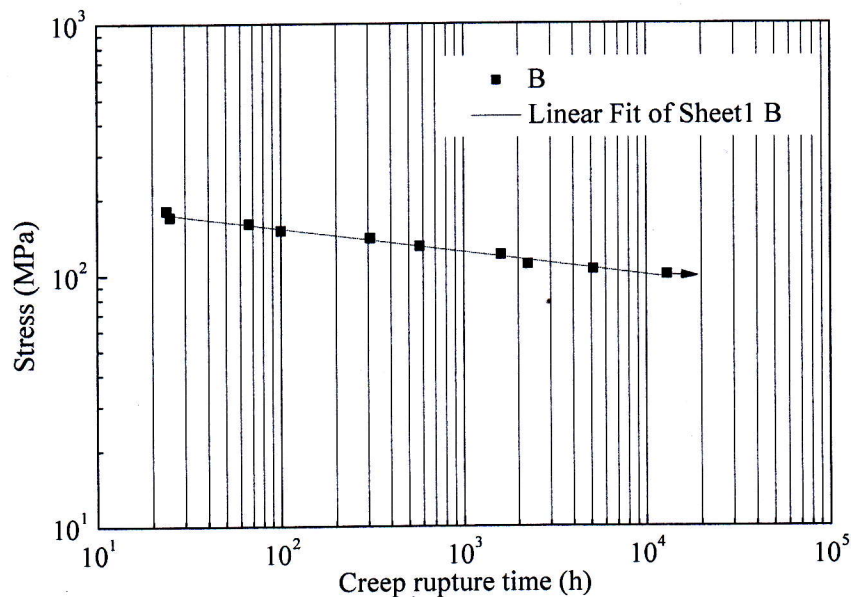


图3 P91 在 625℃下的持久强度拟合曲线

由表 7 拟合的持久强度曲线较为理想，其曲线的相关系数为 0.98602。应用所得拟合公式作 10 万小时外推，得到 10 万小时下的持久强度为 80.6MPa。

根据 ASME BPVC Section II Part: D 提供的最大许用应力值推算该材料在该温度下的持久强度为 68.25MPa，而 GB5310-2008 提供的 10Cr9Mo1VNbN 在该温度持久强度为 68MPa，试验数据外推的持久强度值高于标准值。

### 3 结论

1) P91 样管化学分析、力学性能、冲击性能以及硬度符合 GB5310-2008 与 HG CG506-2009A 采购技术规范的要求；

2) P91 的显微组织、非金属夹杂物检验符合 GB5310-2008 与 HG CG 506-2009A 技术要求；

3) P91 样管在 625℃下进行持久试验，外推 10 万小时持久强度为 80.6MPa，根据 ASME BPVC Section II Part: D 提供的最大许用应力值推算该材料在该温度下的持久强度为 68.25MPa，试验数据外推的持久强度值高于 ASME 标准值，亦满足 GB5310-2008 在该温度下规定的持久强度值(68MPa)。