

(ASME SA350 LF3) Ni3.5 钢制低温压力容器管道构件用锻件  
制 造 规 范

1 范围

本规范规定了等效采用 ASME SA350 中 LF3 级钢制低温压力容器中管道锻件技术要求的工艺路线、检验要求和主要工序的控制要点，并给出了相应的工艺参数。

本文件适用于上述以粗加工状态交货的锻件的制造。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

<b>ASME SA350/SA350M</b>	要求缺口韧性试验的管道构件用碳钢和低合金钢锻件
<b>JB4727-2000</b>	低温压力容器用低合金钢锻件
<b>GB/T228-1987</b>	金属材料室温拉伸试验方法
<b>GB/T229-1994</b>	金属夏比缺口冲击试验方法
<b>GB/T5148-1993</b>	金属平均晶粒度测定法
<b>GB/T10561-1989</b>	钢中非金属夹杂物显微评定方法
<b>JB4730-1994</b>	压力容器无损检测

3 技术要求

3.1 化学成份

锻件的成品分析化学成份应符合表 1 的要求。

表 1 成品分析化学成份要求 (Wt %)

项目	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
SA350-LF3 设计要求	≤ 0.20	≤ 0.90	≤ 0.020	≤ 0.015	0.20~ 0.35	3.30~ 3.70	≤ 0.30	≤ 0.12
内控目标	0.10~ 0.15	0.50~ 0.80	≤ 0.010	≤ 0.010	0.20~ 0.30	3.40~ 3.70	≤ 0.20	≤ 0.12
项目	Cu	Nb	V	As *	Sb*	Sn*	[H]*	O <sub>2</sub> *
SA350-LF3	≤ 0.40	≤ 0.02	≤ 0.03	-	-	-	-	-
内控目标	≤ 0.20	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.012	≤ 0.005	≤ 0.010	≤ 2ppm	≤ 40ppm
注 1: 实施真空碳脱氧 (VCD 法) 时允许 Si ≤ 0.10%。(Cr+Mo) ≤ 0.32. *为报出指标。								
注 2: 可利用断裂的拉伸试验取样分析。								

## 3.2 力学性能

3.2.1 锻件调质后按规定取样检测的力学性能要求见表 2。

表 2 力学性能要求

项目	$\sigma_{0.2}$ (Mpa)	$\sigma_b$ (Mpa)	$\delta_4$ (%)	$\psi$ (%)	(-101.1℃) Akv (J)	HB
SA350-LF3	≥ 260	485-655	≥ 22	≥ 35	≥ 20	≤ 197
内控目标	≥ 300	500-620	≥ 28	≥ 50	≥ 100, -130℃ ≥ 40	≤ 197

### 3.2.2 取样

3.2.2.1 按锻件级别或订货要求, 在每个锻件或同炉号同热处理批号的最大截面锻件的延长部分 (或锻件余面) 上取样。一组试样数量: 拉伸×1、冲击×3、硬度×2。当锻件 ≤ 3500kg 时, 在锻件的一端取一组试样; 当锻件 > 3500kg 时, 在锻件的一端, 成 180° 方位上各取一组试样; 当锻件长度大于 1.5 倍外径时, 在锻件的两端各取一组试样。在没有特殊要求时, 试样一般为切向。

3.2.2.2 取样位置: 试样的纵轴应取在 —— 径向: 外  $t/4$ 、纵向: 锻件放长 (厚) 的延伸段端面往内 “一倍 T” 或 100mm (两者比较取小者) 处; 用焊上热缓冲环作 “一倍 T” 时, 应在锻件表面往本体内加工去 15mm 后再取样。

3.2.2.3 力学性能检测不合格时，允许取双倍样复验，但所有复验样必须合格，若有少量仍不合格，允许工件重复热处理后再取样，重复热处理不超过一次，但回火不计。

### 3.3 非金属夹杂物

按 GB/T10561-1989 评定。A、B、C、D 类各不大于 1.5 级； A+C、B+D 各不大于 2 级，A+B+C+D 不大于 4 级。

### 3.4 晶粒度

按 YB/T5148-1993 评定。 $\geq 5$  级。

### 3.5 超声波检测

按 JB4730-1994 探伤，单个缺陷，密集区缺陷及底波降低量均为 II 级。

## 4 尺寸与外观

应符合 JB4727-2000 中 5.7 条要求。

## 5 工艺路线

(LFV + ESR) 制锭 — 锻造 — 粗加工 — 探伤 — 性能热处理 — 取样、粗加工 — 检验

## 6 主要工艺参数与控制要点

### 6.1 炼钢

6.1.1 粗选炉料，做好干燥、清洁工作。

6.1.2 脱氧完善，努力降低 S、P 量，并使成分进入目标范围。

6.1.3 确保炉外精炼的真空度，进一步降 S。

6.1.4 电渣重熔时控制好熔化速率，补缩完善。

6.1.5 认真清理表面的渣沟、夹皮和两端夹渣部分。

### 6.2 锻造

6.2.1 始锻温度 $\leq 1240^{\circ}\text{C}$ ，（锻造比 $< 1.5$ 时为 $1190^{\circ}\text{C}$ ）严防过热、过烧。

6.2.2 终锻温度 $\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，小压缩量时 $\sim 750^{\circ}\text{C}$ 。成形后空冷至 $\sim 300^{\circ}\text{C}$ 再进热处理炉。

6.2.3 总锻比 $\geq 3.5$ ，镦粗比 $\geq 2$ ，截面减缩比 $\geq 3$ 。

6.2.4 锻后热处理以细化晶粒、调整硬度为主。 $890^{\circ}\text{C} \sim 910^{\circ}\text{C}$ 奥氏体化后吊下炉子喷风冷却至表面 $\sim 200^{\circ}\text{C}$ ， $650^{\circ}\text{C}$ 回火后空冷或炉冷。

6.2.5 做好表面清理与标识工作。

### 6.3 性能热处理

6.3.1 热处理前锻件的衰减系数  $\alpha \leq 0.006\text{dB/m}$ ，若衰减量较大，热处理前应加正火，在  $900^{\circ}\text{C} \sim 920^{\circ}\text{C}$  奥氏体化后风（空）冷，随后再进行调质。

6.3.2 可选用  $\geq 100\text{mm}$  高度，厚度  $\geq 100\text{mm}$ 、直径与处理件较匹配，长度  $\geq 500\text{mm}$  的热缓冲环段、点焊在锻件取样端。焊前预热，焊后缓冷。

6.3.3 奥氏体化温度： $880^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ ，水淬；回火温度： $640^{\circ}\text{C} \sim 660^{\circ}\text{C}$ ，空冷。保温时间以热处理厚度计算： $2 \sim 2.5\text{h}/100\text{mm}$ 。均热时间另计。

6.3.4 锻件入水水温  $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ，出水水温温升  $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ，循环水应始终全流量开启。

6.3.5 处理后的锻件磨去表面氧化脱碳层，按规定在本体上打三点硬度。

6.3.6 热处理记录曲线图收齐存档。

## 7 焊接

除热处理前一倍 T（热缓冲环）点焊外，本体上不允许焊补。

## 8 附加要求

8.1 若合同有规定，可进行低于母材回火温度、 $\geq 590^{\circ}\text{C}$  的温度下进行模拟焊后热处理，并在该状态下取样进行力学性能检测，要求同表 2。

8.2 按 JB4727-2000 确认为 III 级或 IV 级锻件可附加进行系列韧脆转变试验，并提供 Akv 系列冲击转变温度曲线（FATT<sub>50</sub>、ETT<sub>50</sub> 等），试验方法按 GB/T229-1994 的规定。

---