

# AP1000 锻件制造过程中机加工问题经验总结

左超上 周兴强 牛玉飞  
(国核工程有限公司, 上海市 200233)

**[摘要]** 本文主要对 AP1000 锻件制造过程中机加工问题进行了经验总结, 主要对于机加工过程中由于人因失误导致的质量问题从产生的原因分析和如何进行预防进行了阐述, 并且对监造人员在机加工过程中能够做出的积极应对进行了分析总结, 有助于国内锻件制造商机加工相关工作水平的提高, 对锻件机加工有着一定的参考和借鉴意义。

**Abstract:** This article mainly summarizes the experience for the AP1000 forging manufacturing. They had made many mistakes during forging machining due to human performance mistakes. This article makes an expound of cause analysis for forging machining questions and summary for how to prevent human performance mistakes. On the other hand, resident engineer also can do many effective activities during the process of forging machining. So this article is useful for domestic forgings manufacturer to improve the level of machining management, it can be used for reference to forging machining management.

**[关键词]** 锻件; 机加工; 人因失误

**Keywords:** forgings; machining; human performance mistakes

黑龙江第一重工股份有限公司、中国第二重型机械集团公司、上海重型机器厂有限公司承担了 AP1000 项目主设备重要锻件的绝大部分工作, 其它还有新闵锻件厂、中兴能源等单位。

由于锻件的机加工不属于锻件的关键工艺 (根据 500 号令附录), 并且因为机加工周期长和等特点一般不宜选取见证点; 但机加工一旦出现错误, 将有可能造成锻件报废的严重后果, 不仅对制造厂造成经济损失 (所用的材料和以前所做的工作全部作废), 而且会直接导致设备不能按期交货而拖延整个工期, 致使核电建设工期增加、投资增加。

## 1 概述

短短几个月, 某厂在 AP1000 关键设备锻件上出现了多次重大机加工质量事故, 暴露出在质量管理方面的一些问题。其中三门 2# 机组压力容器出口接管 1/2 锻件已报废两次, 造成了约 1 年的制造资源和工期损失; 海阳 1# 水室封头 A 加工错误, 如果报废, 将会直接损失近百吨材料的经济损失和 2 年有余的工期损失, 令人不敢设想。

关于这几次机加工质量事故情况, 下面是几次机加工质量问题相关简要介绍。

1) 08 年 7 月 9 日, 某厂在加工三门 1# 机组 RV 的进口接管 (1/4) 时, 由于操作工看错图纸, 误将图中的 R762mm 代替 R1750mm 作为整个圆周的加工尺寸而导致加工错误, 后开出 NCR: 08TQ- NCR- AP1000- 007 报废处理。

2) 09 年 12 月 19 日, 某厂在加工三门 2 号机组压力容器出口接管 - 1/2 锻件 (卡号: 0904277) 时因划线错误导致出现重大质量问题, 最终锻件报废。

3) 10 年 3 月 24 日, 某厂在加工海阳 1 号机组蒸汽发生器 1A 水室封头 (卡号: 0801456) 时因操作工用锯刀盘导致重大质量问题。

4) 10 年 4 月 29 日, 某厂在对三门 2 号机组压力容器出口接管 - 1/2 锻件 (卡号: 1000649) 进行精加工时, 因操作工尺寸计算错误而又未能及时核对导致重大质量问题, 目前已判定此锻件报废。

## 2 机加工问题相关细节介绍

### 2.1 三门 2# 压力容器出口接管 - 1/2 机加工问题

时间: 2009 年 12 月 19 日

1) 某厂技术人员将工艺中要求的精镗工序分解为粗镗和精镗两序, 粗镗序需要进行划线。

2) 划线工由于看图不认真将尺寸线划错, 技术人员在进行尺寸确认时不认真, 没有发现错误。

3) 操作者没有复检划线尺寸, 只根据划线量加工。

在出口接管 (1/2) 精加工过程中, 发现长度方向比图纸要求短 50mm, 此缺陷导致该锻件报废。

相关 NCR: SM2- MV01- GNR- 009

### 2.2 三门 2 号压力容器出口接管 - 1/2 机加工问题

2010 年 4 月 29 日

时间: 2010- 04- 29

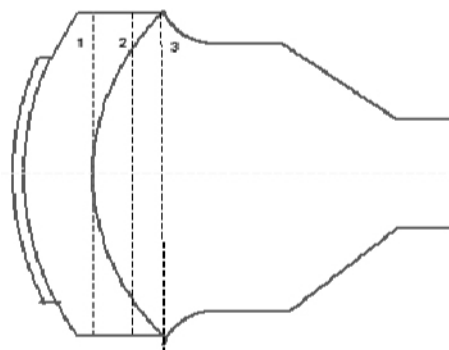
地点: 某厂

锻件名称: 三门 2 号压力容器出口接管 - 1/2 (锻件号: 1000649)

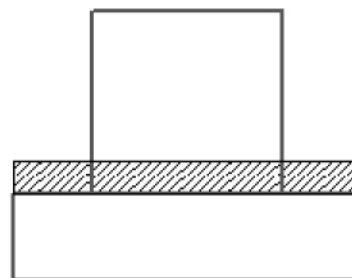
锻件状态: 已基本判定此锻件报废

事情经过: 某厂在对此出口接管进行精加工时 (质量计划编号: SM2- MV01- GQ- 006, Rev.1, 工序: 14 精加工), 因操作人员将图纸看错, 且在未经相关人员核对的情况下开始, 导致目前无法满足 AP1000 三门核电 2# 机组反应堆压力容器出口接管图 (图号: SM2- MV01- V1- 003, Rev.5) 中的尺寸要求。

详细图如下:



现在已将本来到线 3 的尺寸加工到线 2, 即下图剖面区域。



### 2.3 海阳 1 号蒸汽发生器水室封头 A 机加工问题

2010 年 3 月 24 日

概述: 水室封头 A (Chanel Head A) 支撑台加工。

状态描述: 精加工时支撑台错误加工, 从端面开始, 高度 10mm, 外圆直径。

图纸要求  $\phi 711.2\text{mm}$ , 实际被加工成  $\phi 661.2\text{mm}$ 。

事件经过: 操作者在选刀具时, 错将  $\phi 250\text{mm}$  的刀具当成加工工艺要求的。

$\phi 200\text{mm}$  的刀具上机使用。加工一刀后才发现。

调查结果: 操作者工作失误。

供应商自己进行的原因分析: 操作者长期疲劳作业, 工作精神状

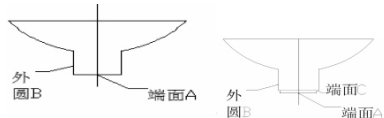
态不佳,工作技能不高,需进行培训。(仅仅分析了直接原因、未分析根本原因)

纠正措施:操作者已下岗接受培训(太简单)。

经验教训:HFHSHC计划开展质量管理强化活动(很宽泛)。

加工细节过程:

1) 根据工艺要求,加工支撑凸台工艺顺序应当为:加工外圆B(如图)→加工端面A(如图)。



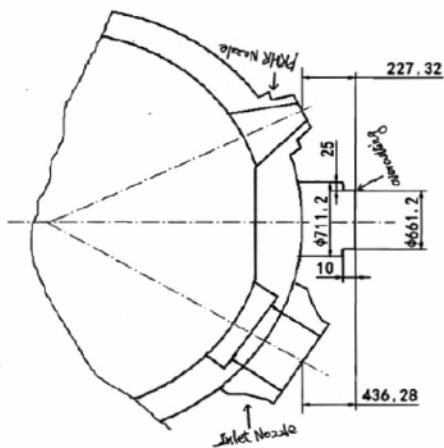
2) 当操作者准备加工外圆B剩余的余量时,误把 $\phi 250\text{mm}$ 刀盘当做 $\phi 200\text{mm}$ 输入刀补,加工外圆一段(如上图)。

3) 操作者在加工完外圆一段时,发现刀盘使用错误,于是测量端面C,测量后认为凸台高度方向尺寸足够满足精加工尺寸并能将刀盘使用错误的缺陷去掉,所以继续按正确刀补加工外圆B(实际上凸台总高只能满足精加工图纸要求,已不够去除刀盘使用错误的缺陷,操作者测量失误)。

4) 最后,当操作者加工端面A时才发现已有局部不够加工,不能完全去除刀盘使用错误的缺陷。

下附简图:

挖刀处简图 Overcutting distributing sketch



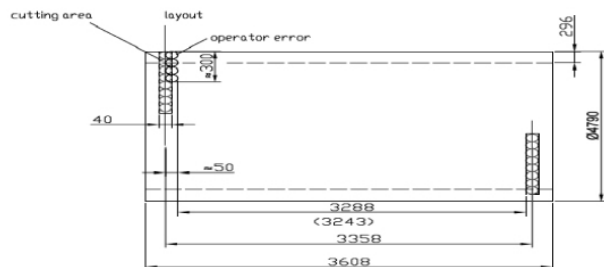
### 3 某厂钻取试块质量问题情况介绍

事故经过:某厂在执行CMT的N2209513壳体锻件II(卡号:2692848)热处理后取试块的工序时,将该取试工序安在WD250NC镗床执行。

在加工过程中,B端B试块为该件需钻取的第一块试块,机床操作者在进行B端B试块的径向切口过程中,发现所切口位置与图纸尺寸不符,与图纸尺寸偏移了30mm,并及时将此问题反馈到技术部门,机床未继续加工。在技术部门了解情况后,经过计算后确定:B试块可按现状继续加工,其余试块加工要求不变。

事故原因分析:由于B端B试块在钻取过程中,首先进行的是轴向切口的加工,再进行径向切口的加工。加工过程中由于换了班次,操作者未能认真复查切口尺寸,就进行了加工。在加工过程中发现与划线有矛盾时,才复查尺寸,这时已加工出了300mm左右的长度。

以下为示意图:



### 4 应该吸取的经验教训

1) 职工长期倒班工作精神状态不佳是导致发生质量问题的诱因,制造商应合理调配人力资源来保障生产任务的顺利完成;

2) 操作工人的质量意识和责任意识不强,需要对操作工进行培训(包括核安全文化、AP1000项目质保要求、岗位责任制度、操作规程、机加工技能)并定期进行强化;

3) 制造商对容易发生质量问题的关键工序重视程度和分析不够,应该分析加工难度大和容易出错的工序进行重点监管并加强检查;

4) 制造商车间管理和质量控制不理想,质量控制措施细节不够完善,应加强图纸控制、尺寸转化、刀具选择、加工尺寸核对等内容;

5) 制造商交接班应有有效的管理办法,确保交接内容清楚、正确、完整;

6) 制造商应增强车间每道工序结束后检查机制,每道机加工工序结束之后都应有专门的车间质量检查员对上道工序结果进行检查,检查结束并签字后方能流转到下道工序;

7) 制造商对机加工出现质量问题的根本原因分析不够彻底,以致不能有效避免类似问题一再出现;

8) 经验反馈和吸收机制不健全。机加工问题多次出现,甚至同一个锻件报废两次,制造商应完善自己的经验反馈机制,才能有效避免类似问题经常出现。

### 5 监造人员能做的工作

虽然机加工工序不能选择旁站监督,但监造人员应该加强对重点锻件的精加工车间巡检。

重点检查以下内容:

1) 机床操作人员的精神面貌。2) 加工图纸受控情况。3) 操作工对图纸的理解程度。4) 操作工对加工工艺的熟悉度。5) 单道工序完成后的验收签字(特别是划线后车间质检员检查)。6) 尺寸核对人员和车间质检人员的到位情况等。

### 6 人员行为及人因失误基础

人员行为——是一门关注于如何做对事,减少失误,特别是人因失误的学问。

人员行为是INPO/WANO(核能运行研究院/世界核电厂运行者联合会)为了支持核电站安全可靠运行提出的一个核工业领域的概念。

提高人员行为的一个关键方面,就是集中和强化正确的行为。

人员行为方法力争找出员工在工作过程中或工作环境中产生人因失误的根源,消除或减轻失误。

人因事件预防策略主要是预测和防止显性失误,发现和消除导致隐性失误的潜在条件。

#### 6.1 人员行为基础

1) 人是可能犯错误的,即使是最优秀的员工也是会犯错误的。2) 可能发生差错的情形往往是可预见的、可处理的,也是可预防的。3) 个人行为是受到所在组织的过程和价值观影响的。4) 员工表现很大程度上取决于领导、同事其下属的鼓励和督促。5) 清楚错误发生的原因和吸取以往发生事件(或失误)的教训可以避免事件的再次发生。

#### 6.2 人因失误的三种原因

促成原因——事件原因如纠正,尚不足以阻止异常情况的发生,但认为其也很重要,如果纠正,则将提高过程或产品质量;

直接原因——直接导致异常状态的发生;

根本原因—基本原因，如得到纠正，则相应异常情况不再发生。

#### 6.3 常见失误发生的先导（促成原因）

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 1) 任务要求 / 工作环境： | 2) 个人能力 / 状态： |
| 时间压力            | 对工作不熟悉        |
| 高工作负荷           | 知识的缺乏         |
| 同时间多项任务         | 未使用过的新技术      |
| 重复性操作 / 千篇一律的操作 | 不精确的交流习惯      |
| 不可逆操作           | 不熟练 / 缺乏经验    |
| 缺少标准或标准不明确      | 模糊的解决问题技巧     |
| 令人困惑的程序和含糊的导则   | “凑合”的工作态度     |
| 过多沟通的要求         | 疾病或疲劳、健康状况    |
| 复杂的大量的信息流       | 对关键参数不清楚      |
| 过长的工作时间         | 主要的生活问题、经济和情绪 |
| 刚交接班            | 自满 / 自负       |

#### 6.4 操作者应该避免下列情况

- 1) 不提前找出关键步骤和活动。
- 2) 在初次自检后由于某种原因导致分心后没有再次自检，并且没有亲自亲眼确认。
- 3) 在工作过程中和别人谈话或打电话。
- 4) 没有指导性程序文件的情况下自检。
- 5) 企图同时进行一项以上的工作或同时做两件没有关联的工作。
- 6) 当出现情况和不一致性时继续工作。
- 7) 关注其它事物而不是需要操作的设备。

#### 8) 疲劳、困倦。

#### 6.5 交接班时应注意的

- 1) 需完成的任务和目标。
- 2) 关键联系人、利益相关者和组织的接口。
- 3) 工作状态：目前已完成的工作，现在使用的程序。
- 4) 已知的问题或异常情况。
- 5) 重要活动的易错环节。
- 6) 与任务 / 活动相关的资源方位。

#### 6.6 避免下列带风险操作

- 1) 遗漏决策所需的关键信息或基本信息。
- 2) 未面对面对口头解释。
- 3) 未在工作日志中记录下值班过程中发生的各种活动和情况。
- 4) 在令人分心的环境下进行交接班，或在交接班时被打断，或匆忙交接班，或交接班时间不足。

#### 6.7 管理部门在发生问题后应该避免下列带风险操作

- 1) 根据可能的原因确定问题。
- 2) 在确定问题前就试图处理和改变它。
- 3) 在落实长期纠正行动之前，未立即采取纠正行动以防止问题再发生，使用主观的方法对待高风险问题，诸如：直觉、经验和突发奇想。
- 4) 无法确定直接原因时强行指定一个。
- 5) 在没有确定原因之前就采取纠正行动。
- 6) 未弄清风险之前就做决定。
- 7) 无正当理由或不尊重事实的情形下排除潜在原因。
- 8) 解决问题时个人意见支配集体意见。
- 9) 回避争辩。

- 10) 未考虑到所有利益相关方，限制处理方式的适用性。

#### 6.8 领导层要通过实际行动来影响个人和组织的行为，领导者需要

- 1) 实现坦诚沟通。
- 2) 重视失误的预防，消除可能产生失误的情形，尽可能减少不确定因素。
- 3) 实事求是，面对问题并承担后果。
- 4) 寻找并消除组织中可能导致失误和降低防范水平的薄弱环节。
- 5) 强化所需要的正确行为。
- 6) 利用所有可能提供额外见解的可用人员（专家），让管理层参与决策，并从生产第一线的工作人员处取得帮助。
- 7) 尽管有生产进度压力也要顾及质量及安全性，欲速则不达。
- 8) 发生问题时组织人员将直接原因和根本原因分析透彻。
- 9) 组织完成经验反馈、总结，用以指导以后的工作。

#### 7 人因失误的类型、纠正方法及过程分析

##### 7.1 人因失误的三种基本类型

操作性失误 (Skilled Based) ——可用“一时疏忽”来形容；

规则运用型失误 (Rule Based) ——常用“违章”、“违规”、“不执行程序”等来形容；

知识水平性失误 (Knowledge Based) ——往往可用“经验不足”

“过分自信”等来形容。

#### 7.2 纠正三类基本失误的常用方法

- 1) 纠正操作型失误常用方法是自检、监护、交流等。
- 2) 纠正规则运用型失误的常用方法是严格遵守规程、改进规程、班前会等。

- 3) 纠正知识水平型失误的常用方法是加强团队协作、进行基础知识培训、加强经验交流、完善规程等。

#### 7.3 纠正人因失误的三种方法

- 1) 有一种做法是“头痛医头，脚痛医脚”，即就是论事，不查找根本原因。结果往往是治表不治里，事件重复发生，电厂被无数问题困扰，整天忙于“救火”。

- 2) 另一种做法是“见树不见林”，即只注意某个过程，而忽视其它过程。如只强调严格遵守规程，而忽视规程的可操作性。

- 3) 再一种做法是“见树又见林”，即寻找根本原因，综合考虑所有过程。人因失误是不可能完全避免的，重要的是不断优化工作流程、

人员配置、改善工作环境、发挥人的积极性等，尽可能降低人因失误。

#### 7.4 事件调查和原因分析过程

步骤 1- 事件通告：描述问题，确定何人 (WHO) —何事 (WHAT) —何时 (WHEN) —何地 (WHERE) —如何 (HOW，已知的事件发生情景)，其中“何人”不是指人的姓名，而是指相关人员的工种、培训程度、岗位等有助于事件分析的信息；

步骤 2- 事件调查：确定事件调查范围，调查事件是怎么发生的，如果是人因事件，则要调查导致不恰当行动的行为因素；

步骤 3- 原因分析：分析调查结果，确定行为因素存在的原因；

步骤 4- 确定根本原因：识别根本原因；

步骤 5- 制定纠正措施：针对问题发生的真正原因制定纠正措施，防止问题的再发生；

步骤 6- 编写事件报告：事件报告需要永久保存，便于以后的趋势分析、问题的解决、纠正行动的审核、经验反馈的实施等。

#### 8 结论

我们都应该充分意识到锻件加工的重要性，不论是数十吨锻件的经济损失还是以年为单位计算的工期损失，都是巨大而让人不可接受的，都不希望再发生类似反应堆出口接管和蒸汽发生器的加工问题。

对于人为因素直接导致的加工问题，应该采取双人操作、检查员及时核查等有效措施，而不能仅仅使让操作者下岗等简单易行但效果甚微的方式。

对于发生的质量问题，应该科学的分析问题，找出促成原因、直接原因和根本原因，并制订对应的改进措施，完善质量保证的程序和健全公司经验反馈机制。不仅要看到操作者的错误因素，更要分析程序上和管理上的因素，减少和消除人因失误，全面提高公司的管理水平，顺利完成 AP1000 项目。这是我们大家的共同愿望！

作者简介：左超上，男，1973 年生，河南襄城人，1998 年 7 月本科毕业于华北电力大学，专业为机械设计与制造，2006 年获得华北电力大学机械工程硕士学位，2004 年获得国家电网评定的工程师职称，现供职于国核工程有限公司联合项目管理机构 JPMO 质量保证部，任反应堆和主泵组组长，负责反应堆压力容器、堆内构件、控制棒驱动机构、主泵、一体化堆顶、主设备锻件等质量保证和设备监造管理工作。

#### 【参考文献】

- [1] 电湾核电厂事件分析方法。
- [2] 西屋公司人因手册。