

第三章 压力容器用材以及环境和时间 对其材料性能的影响

**MATERIALS FOR PRESSURE VESSELS
AND INFLUENCES OF ENVIRONMENT AND
TIME ON PROPERTIES OF THESE MATERIALS**

第四节 压力容器材料选择

3.4 压力容器材料选择

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

3.4.2 压力容器钢材的选择

3.4 压力容器材料选择

教学重点：

压力容器钢材的选择。

教学难点：

无

3.4 压力容器材料选择

压力容器材料费用占总成本的比例很大，一般超过30%。材料性能对压力容器运行的安全性有显著的影响。选材不当，不仅会增加总成本，而且有可能导致压力容器破坏事故。

压力容器材料多种多样

钢——用的最多
有色金属
非金属
复合材料

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

压力容器用钢
基本要求

{ 较高的强度
良好的塑性、韧性、制造性能和与介质相容性

改善钢材性能的途径

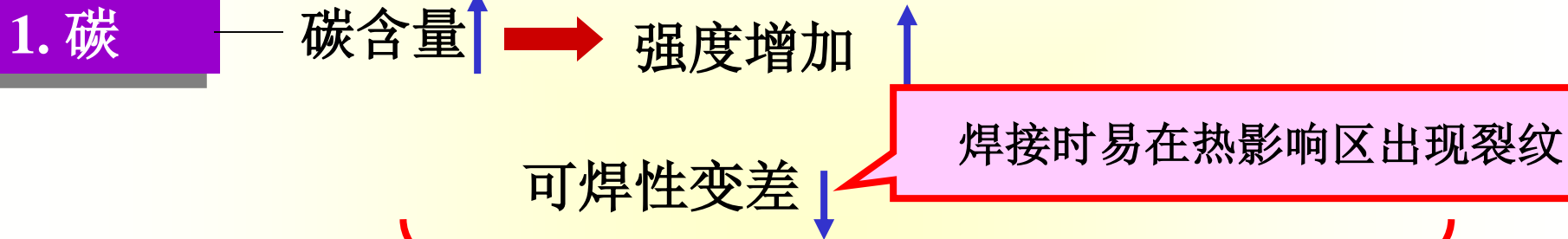
{ 化学成分的设计
组织结构的改变
零件表面改性

本节对压力容器用钢的基本要求作进一步分析。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

一、化学成分

钢材化学成分对其性能和热处理有较大的影响。



压力容器用钢的含碳量一般不应大于0.25%

2. 钒、钛、铌等

在钢中加入钒、钛、铌等元素，可提高钢的强度和韧性。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

3. S、P 钢中最主要的有害元素

硫——能促进非金属夹杂物的形成，使塑性和韧性降低。

磷——能提高钢的强度，但会增加钢的脆性，特别是低温脆性。

将硫和磷等有害元素含量控制在很低水平，即大大提高钢材的纯净度



可提高钢材的韧性、抗应变时效性能、抗回火脆化性能、抗中子辐照脆化能力和耐腐蚀性能。

与一般结构钢相比，压力容器用钢对硫、磷、氢等有害杂质元素含量的控制更加严格。

例如，中国压力容器用钢的硫和磷含量分别应低于**0.020%**和**0.030%**。随着冶炼水平的提高，目前已可将硫的含量控制在**0.002%**以内。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

化学成分对热处理也有决定性的影响，如果对成分控制不严，就达不到预期的热处理效果。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

二、力学性能

材料的力学性能是指材料在不同环境（温度、介质等）下，承受各种外加载荷时所表现出的力学行为。

钢材的力学行为，不仅与钢材的**化学成分**、**组织结构**有关，而且与材料所处的**应力状态**和**环境**有密切的关系。

钢材的力学性能主要是表征强度、韧性和塑性变形能力的判据，是机械设计时选材和强度计算的主要依据。

a. 压力容器设计中，常用强度判据

抗拉强度 R_m

屈服点 R_{eL}

持久极限 R_D^t

蠕变极限 R_n^t

疲劳极限

b. 压力容器设计中，常用塑性判据

延伸率 A

断面收缩率 Z

c. 压力容器设计中，常用韧性判据

冲击吸收功 KV_2

韧脆转变温度

断裂韧性

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

韧性

韧性对压力容器安全运行具有重要意义。在载荷作用下，压力容器中的缺陷常会发生扩展，当裂纹扩展到某一临界尺寸时将会引起断裂事故，此临界裂纹尺寸的大小主要取决于钢材的韧性。

如果钢的韧性高，压力容器所允许的临界裂纹尺寸就越大，安全性也越高。

为防止发生脆性断裂和裂纹快速扩展，压力容器常选用韧性好的钢材。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

A_{kv}

夏比V型缺口冲击吸收功 A_{kv} 对温度很敏感，能较好地反映材料的韧性，与断裂韧性有较好的数值联系，世界各国压力容器规范标准都对 A_{kv} 提出了要求。

如Q345R(16MnR)钢板，要求在0°C时的横向（指冲击试件的取样方向） A_{kv} 不小于41J。当使用温度低于或等于-20°C时，需要考虑低温冲击韧性。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

在一般设计中，力学性能判据数值可从相关的规范标准中查到。但这些数据仅为规定的必须保证值，实际使用的材料是否满足要求，除要查看质量证明书外，有时还要对材料进行复验；必要时，还应模拟使用环境进行测试。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

三、制造工艺性能

◇冷加工的要求

制造过程中进行冷卷、冷冲压加工的零部件要求钢材有良好的冷加工成型性能和塑性，其延伸率 A 应在17%以上。为检验钢板承受弯曲变形能力，一般应根据钢板的厚度，选用合适的弯心直径，在常温下做弯曲角度为 180° 的弯曲实验。试样外表面无裂纹的钢材方可用于压力容器制造。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

三、制造工艺性能

◇焊接的要求

可焊性：指在一定焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。钢材的可焊性主要取决于它的化学成份，其中影响最大的是含碳量。含碳量愈低，愈不易产生裂纹，可焊性愈好。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

合金元素——影响通常是用碳当量 C_{eq} 来表示。碳当量的估算公式较多，国际焊接学会所推荐的公式为：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5}$$

式中的元素符号表示该元素在钢中的百分含量。

一般认为， C_{eq} 小于0.4%时，可焊性优良； C_{eq} 大于0.6%时，可焊性差。

3.4.1 压力容器用钢的基本要求

中国《锅炉压力容器制造许可条件》中，碳当量的计算公式为：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

按上式计算的碳当量不得大于0.45%。

3.4.2 压力容器钢材的选择

压力容器零件材料选择综合考虑

压力容器的使用条件

相容性

零件的功能和制造工艺

材料性能

材料使用经验（历史）

综合经济性

规范标准

3.4.2 压力容器钢材的选择

作业: (p95)思考题

1, 2, 3, 4, 5