

核电站压力容器的不锈钢堆焊工艺

核电站反应堆压力壳、蒸汽发生器和稳压器在高温高压条件下长期运行，要求容器内壁的腐蚀速率低于 $10\text{mg}/(\text{cm}^2\cdot\text{month})$ 。因此，在压力容器的封头、筒体和接管的内壁均需堆焊超低碳不锈钢。

一、不锈钢堆焊要求

不锈钢一般堆焊两层，即过渡层和面层，在低合金钢上堆焊不锈钢，原则上是要保证稀释后的过渡层化学成分(除碳外)接近面层。为使过渡层具有良好的抗裂性和塑性，核安全导则规定铁素体含量控制在 $5\sim 10\%$ 之间。

堆焊层中的面层成分由容器的使用条件决定。在选择堆焊用焊接材料及焊接参数时，必须强调严格控制熔敷金属中的铁素体含量。过量的 δ -铁素体在一定条件下会转化成 σ 相造成脆化，因此在带极堆焊时，除熔深外，还需特别注意相邻焊道之间的搭接量，带极堆焊的搭接量一般控制在 $8\sim 10\text{mm}$ 范围内。

不管堆焊本身还是基材的焊接过程中，都会使堆焊层经受长时间的热循环，可能会导致不锈钢堆焊层出现脆化和晶间腐蚀的倾向。因此，焊后热处理应限制在一定的温度和时间范围内。

二、堆焊材料的选择

虽然 ASME 及其他核容器规范对带极堆焊用材料未作明确规定，但一般倾向于过渡层采用 E309L，而面层则采用 E308L 或 E347L。考虑到在堆焊金属中某些元素可能从焊剂向熔池过渡，所以要求进一步降低填充材料中 C、S、P 的含量。一般说来，目前 E309L 中的含碳量已控制在 0.025% ，而 E308L 中的含碳量控制在 0.020% 以下，同时两种焊带中的 S、P 含量均控制在 0.025% 以下。为了提高抗晶间腐蚀性能，堆焊金属中的含铬量要求保持在 19% 以上。

当前国际上常用的一剂两带匹配，有日本神户制钢生产的 PFB-7FK/USB309L 和 PFB-7FK/USB308L，瑞典 Sandvik 公司生产的 34SF/309L 和 34SF/308L 等。但也有两剂一带匹配的，如日本神户制钢生产的 PFB-7/USB 308EL 和 PFB-7FK/USB 308EL 等。总之，堆焊材料的选择应根据产品的技术要求、工厂的设备能力和长期使用经验等。

三、堆焊工艺

目前实际应用的带极堆焊方法有电弧型和电渣型两种，可按容器的制造要求及生产需要选择使用。

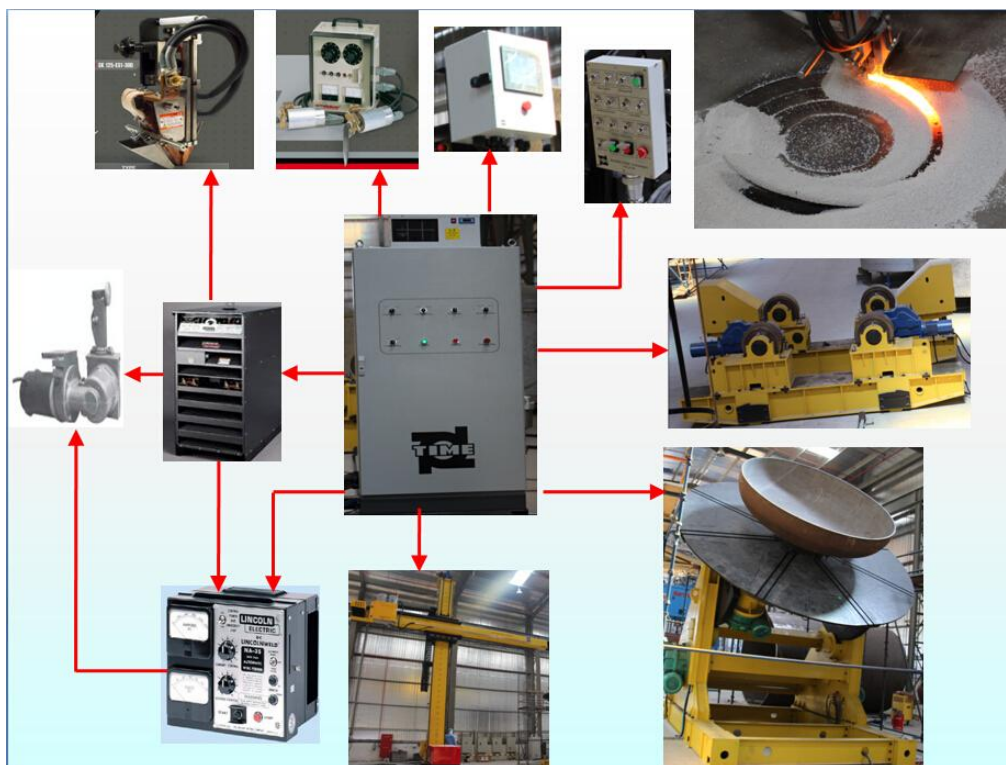


图 1：时代带极堆焊设备



图 2：时代带极堆焊实际效果

自动埋弧带极堆焊采用直流电源，带极接正极。可以采用陡降外特性电源加以电弧电压反馈；也可以采用平特性电源加以等速输送焊带。在堆焊过程中电弧在带极端不断地往复移动，使母材的热输入分散，造成熔深浅、稀释率低的特点。由于电弧堆焊具有热输入小的缺点，为提高熔敷率倾向于采用电渣带极堆焊。电渣型带极堆焊大多使用直流平特性电源，带极接正极，等速输送焊带。在电渣堆焊过程中，以熔渣的电阻热作为焊接热源，使与熔渣接触的母材表面及焊带均匀熔化形成熔池。电渣堆焊的优点是对焊接工艺参数有较大的灵活性，可以在比较宽的范围内施焊。如对 75mm 宽的带极，焊接线能量 Q 可在 120~220kJ/cm 范围

内波动。若 Q 低于 120kJ/cm ，则稀释率大于 20% ，母材稀释过大会使第一层铁素体量大大降低，此值为稀释阈值；当 Q 高于 220kJ/cm ，会在焊道搭接处产生缺陷，并由于 δ -铁素体量增加，会在消除应力处理后发生脆化，此值为工艺阈值。电渣堆焊与电弧堆焊相比稀释率较低。在电渣堆焊的焊剂中，含较多的 CaF_2 ，只含极少量的氧化物，可以抑制电弧的产生，保持焊接的稳定性，还能避免合金成分的烧损，确保熔敷金属化学成分均匀，表面成形光滑，焊道搭接部位夹杂减少。

当带宽大于 70mm 时，带极堆焊焊道宽大，不论是电渣型还是电弧型堆焊，焊道在焊接电流磁力的作用下产生偏移，两侧容易造成咬边。为了克服这一弊端，在带极两侧用一个反向磁场力来抵消上述涡流磁场力。利用磁力控制焊道形状，能获得较满意的结果。

来源：摘自网络