

解开不锈钢焊接难题的密钥



焊接不锈钢有一定的工艺难度，易出现热裂纹、变形、氧化等问题，掌握不锈钢特性、焊接常识可有效应对以上焊接难题。

不锈钢（Stainless Steel）是不锈耐酸钢的简称，耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质或具有不锈性的钢种称为不锈钢。“不锈钢”一词不单纯指一种不锈钢，而是表示一百多种工业不锈钢，每种不锈钢都在其特定的应用领域具有良好的性能。它们都含有 17~22%的铬，较好的钢种还含有镍，添加钼可进一步改善大气腐蚀性，特别是耐含氯化物大气的腐蚀。

一、不锈钢的分类



图 1：不锈钢压力容器

1、什么是不锈钢和耐酸钢？

答：不锈钢是不锈耐酸钢的简称，耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质或具有不锈性的钢种称为不锈钢；而将耐化学腐蚀介质（酸、碱、盐等化学浸蚀）腐蚀的钢种称为耐酸钢。由于两者在化学成分上的差异而使它们的耐蚀性不同，普通不锈钢一般不耐化学介质腐蚀，而耐酸钢则一般均具有不锈性。

2、如何对不锈钢进行分类？

答：按组织状态分为马氏体钢、铁素体钢、奥氏体钢、奥氏体-铁素体（双相）不锈钢及沉淀硬化不锈钢等。

（1）马氏体钢：强度高，但塑性和可焊性较差。马氏体不锈钢的常用牌号有 1Cr13、3Cr13 等，因含碳较高，故具有较高的强度、硬度和耐磨性，但耐蚀性稍差，用于力学性能要求较高、耐蚀性能要求一般的一些零件上，如弹簧、汽轮机叶片、水压机阀等。这类钢是在淬火、回火处理后使用的，锻造、冲压后需退火。

（2）铁素体钢：含铬 15%~30%。其耐蚀性、韧性和可焊性随含铬量的增加而提高，耐氯化物应力腐蚀性能优于其它种类不锈钢，属于这一类的有 Cr17、Cr17Mo2Ti、Cr25，Cr25Mo3Ti、Cr28 等。因其含铬量高，耐腐蚀性能与抗氧化性能均比较好，但机械性能与工艺性能较差，多用于受力不大的耐酸结构及作抗氧化钢使用。这类钢能抵抗大气、硝酸及盐水溶液的腐蚀，并具有高温抗氧化性能好、热膨胀系数小等特点，用于硝酸及食品工厂设备，也可制作在高温下工作的零件，如燃气轮机零件等。

（3）奥氏体钢：含铬大于 18%，还含有 8%左右的镍及少量钼、钛、氮等元素。综合性能好，能耐多种介质腐蚀。一般采用固溶处理，即将钢加热至 1050~1150℃，然后水冷或风冷，以获得单相奥氏体组织。

（4）奥氏体-铁素体（双相）不锈钢：兼有奥氏体和铁素体不锈钢的优点，并具有超塑性。奥氏体和铁素体组织各约占一半的不锈钢。在含 C 较低的情况下，Cr 含量在 18%~28%，Ni 含量在 3%~10%。有些钢还含有 Mo、Cu、Si、Nb、Ti、N 等合金元素。该类钢兼有奥氏体和铁素体不锈钢的特点，与铁素体相比，塑性、韧性更高，无室温脆性，耐晶间腐蚀性能和焊接性能均显著提高，同时还保持有铁素体不锈钢的 475℃脆性以及导热系数高，具有超塑性等特点。与奥氏体不锈钢相比，强度高且耐晶间腐蚀和耐氯化物应力腐蚀有明显提高。双相不锈钢具有优良的耐孔蚀性能，也是一种节镍不锈钢。

（5）沉淀硬化不锈钢：基体为奥氏体或马氏体组织，沉淀硬化不锈钢的常用牌号有 04Cr13Ni8Mo2Al 等。其能通过沉淀硬化（又称时效硬化）处理使其硬（强）化的不锈钢。

按成分分为铬不锈钢、铬镍不锈钢和铬锰氮不锈钢等。

（1）铬不锈钢具有一定的耐蚀（氧化性酸、有机酸、气蚀）、耐热和耐磨特性，一般作为电站、化工、石油等设备材料。但其焊接性较差，应注意焊接工艺、热处理条件等。

（2）铬镍不锈钢在焊接时，受到重复加热析出碳化物，会降低耐腐蚀性和力学性能。

（3）铬-锰不锈钢的强度、延展性、韧性、成形性、焊接性、耐磨损和耐腐蚀性能良好。

二、不锈钢焊接的疑难问题及材料设备使用介绍



图 2：TDW 直流氩弧焊机、TDN 脉冲气保焊机

1、为什么焊接不锈钢有一定的工艺难度？

答：（1）不锈钢材料热敏感性较强，在 450~850℃温区内停留时间稍长，焊缝及热影响区耐腐蚀性能会严重下降；（2）容易发生热裂纹；（3）保护不良，高温氧化严重；（4）线膨胀系数大，易产生较大的焊接变形。

2、焊接奥氏体不锈钢可采取哪些有效的工艺措施？

答：（1）依据母材的化学成分，严格选择焊接材料；（2）小电流快速焊接，小线能量减少热输入；（3）细直径焊丝、焊条，不摆动，多层多道焊；（4）焊缝及热影响区强制冷却，减少 450~850℃停留时间；（5）TIG 焊缝背面氩气保护；（6）与腐蚀介质接触的焊缝最后焊接；（7）焊缝及热影响区钝化处理。

3、为什么奥氏体不锈钢和碳钢、低合金钢焊接（异种钢焊接）要选用 25—13 系列的焊丝及焊条？

答：焊接奥氏体不锈钢和碳钢、低合金钢相连的异种钢焊接接头，焊缝熔敷金属必须采用 25—13 系列的焊丝（309、309L）及焊条（奥 312、奥 307 等）。如采用其它不锈钢焊材，在碳钢、低合金钢一侧熔合线上会产生马氏体组织，出现冷裂纹。

4、为什么实心不锈钢焊丝要用 98%Ar+2%O₂ 的保护气体？

答：实心不锈钢焊丝 MIG 焊接时，如果采用纯氩气体保护，熔池表面张力大，焊缝成型不良，呈“驼背”焊缝形状。加入 1~2%的氧气，可降低熔池表面张力，焊缝成型平整美观。

5、为什么实心不锈钢焊丝 MIG 焊缝表面会发黑？如何解决此问题？

答：实心不锈钢焊丝 MIG 焊接速度较快（30~60cm/min），保护气体喷嘴已运行至前端熔池区时，焊缝还在红热高温状态，易被空气氧化，表面即生成氧化物，焊缝发黑。用酸洗

钝化方法能够去除黑皮，恢复不锈钢原始表面颜色。

6、为什么实心不锈钢焊丝要用带脉冲的电源才能实现射流过渡，无飞溅焊接？

答：实心不锈钢焊丝 MIG 焊接时， ϕ 1.2 焊丝，当电流 $I \geq 260 \sim 280A$ ，才能实现射流过渡；小于此值熔滴为短路过渡，飞溅较大，一般不推荐用。只有使用带脉冲的 MIG 电源，才能实现从小规范到大规范的脉冲射滴过渡（根据丝径选择最小值或最大值），无飞溅焊接。

7、为什么药芯不锈钢焊丝用 CO_2 气体保护，不用带脉冲的电源？

答：目前常用的药芯不锈钢焊丝（如 308、309 等），焊丝内的焊药配方是按 CO_2 气体保护下产生焊接冶金反应而研制的，所以一般情况下不用带脉冲的弧焊电源（带脉冲的电源基本都需要采用混合气），如果想要提前进入射滴过渡也可以采用脉冲电源或常规气保焊机配以混合气体焊接。



图 3：不锈钢焊缝

来源：内部稿件