

# 耐热不锈钢及其用途

2009-6-4 14:34

不锈钢除了在湿蚀方面使用外，还由于其含有大量的Cr，高温性能优良也使用在高温方面。除使用在一般的热处理炉材和工业用耐热构件、火力发电用锅炉和化学工业的反应炉用材等工业领域外，也广泛用于汽车排气系统构件及家用暖炉等日常生活用器具。

在高温下使用时所要求的性能是多方面的，如耐蚀性、高温强度、热膨胀性等。本文总结了在高温环境下特别需要考虑的性能和目前使用的耐热不锈钢的概况。

### 耐热不锈钢要求的性能

对高温环境用耐热不锈钢所要求的特性与表1所示的在常温附近的温度和水溶液环境下要求的特性是不同的。在高温环境大多置于各种燃烧气体下，因此要求在腐蚀性气氛下的耐蚀性能，把这种高温腐蚀气体的腐蚀称为高温腐蚀。高温腐蚀一般是与氧有关的高温氧化，根据环境，如表1所示会发生含H2S和SOx，等气体的硫化、含CO／C02和碳氢化合物气体的渗碳、NH3／H2系气体的氮化和因HCl和Cl2等卤化气体引起的卤化等。

表1 高温环境下发生的现象及特征

特 性			现 象 与 特 征
耐蚀性	高温氧化		与O2反应在表面形成金属氧化物 氧化物的生产速度
	高温气体腐蚀	硫化	与H2S、SOX反应形成的硫化物是低熔点、多孔质、硫化铁皮生产速度快，耐热温度比高温氧化环境还低
		渗碳	CO及碳化氢的C向金属内部扩散，形成氮化物 由于Cr碳化物析出，形成贫铬层
		氮化	由于NH3等，N向金属内部扩散形成氮化物。由于铬氮化物析出，形成贫铬层
		卤化	与Cl2反应生成的卤化物，其挥发性高，故发生腐蚀膜的蒸发，使腐蚀速度变大
	熔融盐腐蚀		硫酸盐、氯化物、等低熔点化合物，由于熔融，使保护性氧化物溶解
机械性能	高温强度		随温度上升，强度降低
	疲劳	高温疲劳	高温下的疲劳断裂现象
		热疲劳	由于加热时的热膨胀和冷却时的热收缩，产生的反复热应力而发生的疲劳现象
	蠕变		在高温下由于位错运动、扩散和晶界滑移等，即使反应力也发生塑性变形

另外，锅炉等物体由于燃烧灰的粘附，当这些灰在熔融温度区时会发生非常严酷的熔融盐腐蚀。因此，因环境的变化其腐蚀现象及其腐蚀程度会有很大的差别，但是不管任何环境，只要在金属表面生成均匀的保护性皮膜，就能保证高耐蚀性。下面就高温氧化、高温硫化和渗碳进行说明。

当不锈钢在空气中加热时，表面就生成氧化膜。在高温氧化时，表面生成的氧化膜中由于金属离子或氧离子扩散，氧化膜逐渐变厚，其成长速度一般都遵循放射线法则(氧化膜压曲时间1／2)。铁素体不锈钢的情况如图1所示，当达到某个温度以上时会发生异常氧化现象，应引起注意。

当发生异常氧化时，氧化量已经不遵循放射线法则而急剧增大。异常氧化时由于生成氧化铁皮，使贫铬的氧化膜下的基体组成不稳定，由铁素体向奥氏体相转变并伴随着相变应力的发生，据报导这就是氧化膜中产生裂纹的原因。

与铁素体系相比，奥氏体系在高温区具有优良的抗氧化性，为了提高抗氧化性，最有效的方法是力口入Cr、Si和Al。

在使用化石燃料的条件下，由于燃料中含有S成分，因此，燃烧气体中的SOx的高温硫化大多成为耐蚀性劣化的重要原因。高温硫化时，腐蚀生成物的硫化物成长速度比氧化皮要大，不锈钢的耐蚀性比高温氧化时还恶劣。改善抗硫化性最有效的方法是力

口Cr、Al和Si。

渗碳是在材料表面从气相侧析出C时发生的。在高温环境下在金属表面析出的C，易向金属材料内部扩散，与跟C亲和性强的元素(Cr、Ti、Nb等)在内部结合。与Cr结合生成Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>等碳化物时，基体中的Cr量减少，形成贫铬区，导致抗氧化性恶化，改善耐渗碳性有效的办法就是加Ni、Cr和Si。在高温环境下除了耐蚀性外，还必须考虑力学性能，如图2所示，拉伸强度随温度同时下降，尤其是铁素体系不锈钢对温度的依赖关系更大，在800~1200℃以上的强度非常低，任何材料的强度值都差别不大。

在奥氏体系不锈钢中，在600~1200℃以上的高温区的拉伸强度优良。抗氧化性也好，在广泛范围内使用。为了使高温强度增加，采用Mo、Nb、Ti对基体固溶强化和碳氮化物析出强化都是有效的。

除了强度外还必须考虑疲劳和蠕变强度。在高温环境下使用时，由于加热时的热膨胀、冷却时的热收缩产生的反复热应力负荷而发生热疲劳。另外，在高温下长期运转时还发生蠕变的现象，在常温下受到应力作用时，在与该应力相应的塑性变形量下变形停止，但在高温下称为蠕变变形的现象都继续发生。其原因是由晶界滑移和位错运动引起的位错蠕变及原子和空穴的移动导致的扩散、蠕变所造成。总之都是温度升高所发生的现象。

耐热不锈钢的种类及用途

在JIS中已被标准化的耐热钢有JIS G 4311（耐热钢棒）和JIS G 4312（耐热钢板），另外，使用耐热不锈钢铸钢（JIS 5122、符号为SCH）的也不少。

表2表示有代表性的耐热不锈钢的种类和用途，还有用SUH表示的，仅是耐热钢的规格。

耐热不锈钢使用的主要部门，有热处理炉等产业用高温机器、汽车排气系统构件、化学工业和火力发电部门，家庭用燃烧机械等。

(1) 铁素体不锈钢

铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢相比Cr的扩散系数大，所以易生成铬氧化膜，抗氧化性优良是其特征，但必须注意当经过其可能使用的温度范围时就会发生异常氧化。并且强度也明显降低，故大多在800℃以下使用。为了提高抗氧化性应积极加入Cr、Si和Al，为提高强度可加入Mo和Nb。

铁素体耐热不锈钢主要用于汽车排气系统构件，从最高温度的排气歧管到触媒转换器其温度区为950—600℃，是汽车最严酷的部位。因此，不但要求耐氧化性，而且要求高温强度和耐热疲劳性。排气歧管从来是使用铸件产品，而从轻量化和排气规制着眼使用了耐热不锈钢。在材料方面考虑到耐热疲劳主要使用热膨胀系数小的铁素体钢，除了SUS 430系和SUS 409系外还使用SUS 444系。

还有触媒转换器作为触媒载体主要使用陶瓷，但也使用SUH 21和更高Al的20Cr—5Al铁素体材。要求耐磨损性和强度的发动机吸气阀使用SUH3和SUH 11，温度高的排气阀使用奥氏体系的SUH35和SUH 36等。

家庭用暖气、厨房器具和热水器具也使用铁素体系不锈钢，石油炉的燃烧筒和反射板使用SUS 430和加Si、Al为提高抗氧化性能的材料，煤气炉的烧嘴大多也使用SUS 430。

(2) 奥氏体系不锈钢

奥氏体系不锈钢与铁素体系不锈钢相比在高温下具有优良的抗氧化性和强度。因此，多用于工业加热炉材。

在热处理炉内部材料，使用SUS 304、309S和310S，加热器的散热管处于燃烧气体的氧化性气氛下，所以特别要求抗氧化性，使用SUS 310S。另外，在回转窑和燃烧炉等高温炉使用热风，热风的送风机温度为600—750℃的使用SUS 304、热交换器的温度为80-1100℃的使用SUS 310S。

在火力发电等能源部门也使用奥氏体系不锈钢。锅炉过热器和再热器其蒸气温度超过600℃，使用Cr—Mo钢抗氧化性和强度不足。所以使用不锈钢管。在JIS标准品中(JIS G 3463)主要使用SUS 321H、SUS 347H，也使用SUS 304H和SUS 316H。

(3) 马氏体系不锈钢

马氏体系不锈钢是采用高温淬火，然后经回火提高强度。因此，当在回火温度以上使用时强度会剧烈降低，必须在回火温度以下使用。

另外，为了得到完全马氏体组织，需加入多量C，在回火温度区生成Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>等铬碳化物，虽然强度提高，但具有抗氧化性效果的Cr却减少了，这是必须注意的。

当与抗氧化性相比更需要得到强度时，该钢主要用于发动机的吸气阀和高温机器的螺栓。

(4)析出硬化系不锈钢

析出硬化系不锈钢是采用特效热处理，析出金属间化合物的不锈钢。因此，在高温用途使用时，必须与马氏体系不锈钢同样注意。

具有代表性的规格是SUS 630。该钢在进行时效热处理时生成富Cu的微细析出相达到高强度。在高温用传动带等方面使用。

对耐热不锈钢要求的性能特征及主要规格钢种进行了介绍，作为不锈钢的使用方面耐热用途占了主要位置，由于其要求的性能是多方面，所以对标准钢的成分不断进行了改良。今后还希望继续开发发展要求性能更高的不锈钢。

表2 主要耐热钢的特征及用途

项目	钢种	组成	特征及用途例
铁素体系	SUH409、409	11Cr	通用耐热钢／排气系统构件、燃烧器
	SUS410L	13Cr	抗氧化性焊接构件／锅炉燃烧室、燃烧器
	SUS430(430J1)	18Cr-(0. 5Cu-Nb)	850℃(2以下抗氧化用／排气系统构件、散热
	SUS444	19Cr-2Mo	优良耐蚀性和高温强度，排气系统构件、热
	SUH21	18Cr-3Al	抗氧化性良好／发热材料、排气系统构件
马氏体系	SUS403	13Cr-低Si	抗高温高应力／涡轮机叶片
	SUS410(410J1)	13Cr(-Mo)	耐高温强度用构件、涡轮机叶片
	SUH3	11Cr-2Si-1Mo-0. 4C	发动机吸排气管、预燃烧室
	SUH真1	9Cr-1. 5Si~. 5C	750℃以下抗氧化用、发动机吸气管
	SUH616	12Cr-Ni-Mo-W-V	高温构造用构件、螺栓
奥氏体系	SUS302B	18Cr-8Ni-2. 5Si	抗氧化性和强度良好、排气系统构件、工
	SUS304	18Cr-8Ni	870℃以下抗反复氧化、通用钢
	SUS316	17Cr-12Ni-2. 5Mo	优良的抗蠕变性、热交换器构件、耐蚀螺栓
	SUS309S	22Cr-12Ni. .	抗980℃以下的反复氧化、炉材
	SUS310S	25Cr-20Ni	抗1035℃(2以下的氧化、炉材、采暖炉构件
	SUSXMI5J1	18Cr-13Ni-4Si	相当于310S的抗氧化性，换气系统构件
	SUH35	21Cr-4Ni-9Mn-0. 5N	发动机用排气管
析出硬化系	SUS630	17Cr~Ni-4Cu-Nb	高温用运输等、气轮机构件、轴