

不锈钢的锻造工艺（马氏体、奥氏体）

一 奥氏体不锈钢的锻造

1. 概述

奥氏体不锈钢的碳质量分数小于 0.25%，铬的质量分数 17~19%，镍的质量分数为 8%~18%，如 12Cr18Ni9 等。为节镍，用锰或氮代替部分镍而获得的 Cr-Ni-Mn 或 Cr-Ni-Mn-N 不锈钢。

奥氏体不锈钢不发生组织转变，不能用热处理强化，只能通过热锻成形和再结晶获得高的强度。奥氏体不锈钢通常在固溶状态下使用，具有最佳的塑性、韧性、良好的加工成型性及良好的耐蚀性和抗氧化性，因此一般用于要求耐腐蚀、抗氧化或在较高温度下工作，对强度要求不高，以及在较低温度下使用的零部件。

奥氏体不锈钢在高温下晶粒易长大，但长大倾向不如铁素体不锈钢强烈。

2. 锻造温度选择及加热要求

（1） 变形温度选择：

奥氏体不锈钢的锻造加热温度受高温铁素体（ α -相）形成温度的限制，加热温度过高， α -相铁素体的量会显著增多，使钢塑性降低，使塑性变形不均匀，在两相界面产生裂纹。因此奥氏体不锈钢的始锻温度一般控制在 1150~1200℃。

为防止组织中因洗出碳化物使变形抗力增加，产生锻造裂纹。所以终锻温度不应太低，一般不低于 850℃。

对于普通 18-8 型不锈钢始锻温度取 1200℃，当含钼或含高硅则取低于 1150℃，对于 25-12 型和 25-20 型，始锻温度不高于 1150℃，终端温度不低于 925℃。

（2） 加热要求：

不锈钢导热性差，加热时要严格按照温度和速度进行：800℃ 以下缓慢加热（0.3~0.5mm/min），到 920℃ 后可快速加热。

为确保耐蚀性，加热时应严格避免渗碳，因此奥氏体不锈钢不宜在还原性气氛或过分氧化气氛中加热，也不许火焰直接喷射在毛坯上，否则使钢增碳或使晶界区贫铬，提高钢的晶间腐蚀敏感性。

锻件在高温区停留时间不宜过长，否则易造成严重过氧化、元素贫化和晶粒粗化，具体可按锻压手册 P217 表 2-3-15 选择，一般不少于 10~20min。

3. 奥氏体不锈钢锻造要点

- （1） 钢锭锻造时，开始轻压，当变形量达到 30% 后才能重压。锻造时，应单向送进，避免在一处重复压制，以防止出现中心十字裂纹。
- （2） 钢锭锻造比采用 4~6，钢坯取 2~4，视原材料晶粒度而定。奥氏体不锈钢晶粒度大小对钢的耐蚀性有很大影响。为获得细晶粒并充分焊合中心区的微裂纹和孔隙，应保证最后一火有足够大的锻造比，变形量应大于再结晶临界变形程度，变形量一般应大于 12%~20%。
- （3） 变形过程中要求变形均匀，以得到较均匀的晶粒组织，圆饼锻件可考虑下列措施：
 - a. 采用光滑的平台和砧面，必要时润滑；
 - b. 平台和砧面预热到 150~450℃；
 - c. 饼坯两端加低碳钢垫板；
 - d. 采用叠锻；
 - e. 变形时采用间歇压缩；
 - f. 包套锻粗。

- (4) 奥氏体不锈钢冷缩率大。锻件最终成形时,应考虑较大的收缩率(1.5~1.7%),避免锻件在冷却后因尺寸不足造成废品。
- (5) 锻件温度应在 850℃以上切边(冷锻件应预热到 900~950℃再切边)。

4. 锻后冷却

为避免奥氏体不锈钢沿晶界析出 Cr_{23}C_6 而增加晶间腐蚀倾向,所以要求锻后快冷。尤其在奥氏体敏化温度范围(480~815℃),在此区间不得停留,必须快冷。

奥氏体不锈钢锻后空冷、坑冷、砂冷均可。

5. 变形后续工序

- (1) 为使锻造和空冷过程中析出的碳化物重新溶入奥氏体,得到均匀单一的常温奥氏体组织,减轻晶间腐蚀敏感性,因此锻后应进行固溶处理,即在 1020~1050℃加热保温,然后水冷。为防止晶粒长大,加热温度不宜过高,保温时间不宜过长。
- (2) 含 Ti、Nb 的奥氏体钢,固溶后再进行稳定化处理。即将钢加热到 850~880℃保温空冷,此时 Cr_{23}C_6 溶解, TiC 不完全溶解,且在冷却过程中充分析出,从而降低 Cr_{23}C_6 的含量,降低晶间腐蚀倾向。
- (3) 对经冷加工和焊接后的锻件,为消除残余应力,要进行去应力退火。
- 不含 Ti、Nb 的奥氏体不锈钢:加热温度不超过 450℃,以防止 Cr_{23}C_6 析出;
 - 对超低碳和含 Ti、Nb 的奥氏体不锈钢:加热温度不低于 850℃,然后缓冷,消除应力,可减轻晶间腐蚀倾向,并提高抗应力腐蚀能力。
- (4) 奥氏体不锈钢还往往经冷变形后使用,只要按“固溶处理-冷变形-敏化处理”工序进行,就可获得优异的抗应力腐蚀和抗晶间腐蚀性能。
- (5) 为消除表面氧化皮和缺陷,采用先酸洗再喷砂或滚筒抛光在酸洗。

二 马氏体不锈钢的锻造

1. 概述

马氏体不锈钢碳的质量分数为 0.1%~0.4%(其中 9Cr18 为 0.9%),铬的质量分数为 12%~18%,如 1Cr13, 2Cr13, 3Cr13, 4Cr13 等。

此类钢高温时为奥氏体组织,冷却到室温为马氏体组织,可通过热处理强化,提高力学性能。

马氏体不锈钢淬火后的强度、硬度随含碳量增加而提高,但耐蚀性及塑、韧性随之降低,其耐蚀性不如奥氏体不锈钢。但因该类钢具有很高的热强性和较好的耐蚀性,特别适合 550~600℃以下及湿热条件工作的承力件。

2. 锻造温度选择及加热要求

(1) 锻造温度选择

马氏体不锈钢加热温度不宜太高,过高组织会出现 δ 铁素体,使钢的塑性下降,且易在两相界面产生裂纹。因此马氏体不锈钢的始锻温度一般为 1100~1150℃。

终端温度不宜太低,若温度过低,钢的塑性下降较大,易产生锻造裂纹。因此终锻温度因含碳量而异,高碳的取 925℃,低碳的取 850℃,均应高于钢的同素异构转变温度。

(2) 加热要求:

马氏体不锈钢的导热性差,为防止坯料开裂,在实际生产中,坯料的入炉温度应低于 400℃。同时,850℃前应缓慢加热,之后才能快速加热到始锻温度。

锻件在高温区停留时间不宜过长,否则易造成严重过氧化、元素贫化和晶粒粗化,具体可按锻压手册 P217 表 2-3-15 选择,一般不少于 10~20min。

3. 马氏体不锈钢锻造要点

- (1) 马氏体不锈钢高温组织为单相奥氏体，锻造没有特殊困难，但在 900~950℃范围内要避免重击，以防破裂。
- (2) 锻造比一般取 2~3；终锻变形量应大于 12%~20%
- (3) 终锻变形程度不易过小。若加热温度高、终锻变形程度小时，可能由于组织遗传引起低倍粗晶。
- (4) 马氏体不锈钢对表面裂纹敏感，若表面有划伤，锻前应车去。

4. 锻后冷却

马氏体不锈钢对冷却速度特别敏感，空冷即可获得马氏体组织，使锻件内存在很大热应力、组织应力和残余应力，易导致表面裂纹。所以马氏体钢锻后应缓冷方式。

一般是将锻件放在 200℃左右的炉中或石棉保温箱中冷却，或是转入 600℃炉中保温并随炉冷却。

5. 变形后续工序

- (1) 冷却后应及时进行软化退火处理（680℃~780℃保温 2~4h），以消除内应力，降低硬度，便于机械加工。
- (2) 马氏体不锈钢使用前需经淬火（980℃~1050℃）+回火处理，因各类零件对性能的要求不同，回火加热温度不完全相同。1Cr13、2Cr13 钢需在高温（660~790℃）回火后使用；3Cr13、4Cr13 及 9Cr18 钢需低温（200~300℃）回火后使用。
- (3) 为防止产生龟裂（应力腐蚀裂纹），锻件酸洗必须安排在回火处理之后。