

热处理对1Cr17Ni4Cu3钢机械性能和组织的影响

五七〇三厂 张尊略 何富阶

1Cr17Ni4Cu3属于马氏体型沉淀硬化不锈钢。这种钢可通过简单的热处理获得高强度,并且热处理变形小,同时具有类似于奥氏体不锈钢的耐腐蚀性、塑性和优良的工艺性能。因而在航空及其他工业领域中有相当广泛的用途。

本文结合生产中的问题,初步探讨了该钢的热处理、性能及组织之间的关系。

一、材料与试验方法

试验用料采用上钢五厂提供的电弧炉熔炼+电渣重熔的轧制棒材,规格为 $\phi 36$ 毫米,退火状态。化学成分为0.05C、16.35Cr、3.80Ni、0.57Si、0.28Mn、0.017P、0.004S、3.57Cu、0.31Nb。

试样粗加工后,在盐浴炉中进行固溶处理,时效采用箱式空气炉,最后磨削到试样规定尺寸。

机械性能试验方法按HCS34-73, HCS46-73标准规定。

金相试样采用苦味酸-盐酸-酒精溶液浸蚀,浸蚀时间为1分30秒,透射电镜分析采用二次复型法。

二、试验结果和分析

1. 热处理对1Cr17Ni4Cu3钢机械性能的影响

进行了下列三种规范的热处理:

1) 在不同的温度下固溶处理后,于480℃时效1小时;

2) 在1050℃固溶处理后,采用不同的温度时效1小时;

3) 1050℃固溶处理后,在480℃时效不同的时间。

上述三项试验结果如图1a、b、c所示。

图1a的试验结果表明,在低于1100℃的固溶温度下,该钢的抗拉、屈服($\sigma_{0.2}$)强度及硬度(HRC)随着固溶温度的升高而增加,至1200℃以后,上述性能指标急剧下降。不同固溶处理温度对延伸率和冲击值影响不大,但断面收缩率随着固溶温度的升高而降低,超过1100℃以后,下降加剧。

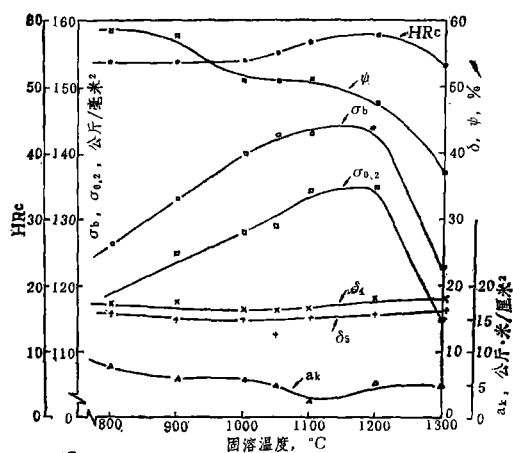
图1b的试验结果表明,在正常的固溶处理温度下,低于480℃时效时,强度、硬度指标随时效温度的上升而增加,在480℃达到最高值,此后,上述性能开始下降。但延伸率和断面收缩率随时效温度的变化不大,仅在最高强度处(480℃)断面收缩率少许下降,冲击值则呈现出较低值。高于480℃过时效时,冲击值出现略有上升的趋势。

从图1b的曲线看出,在480℃时效1小时可以达到最高强度,用高于此温度的过时效处理,强度降低,但综合性能得到改善。

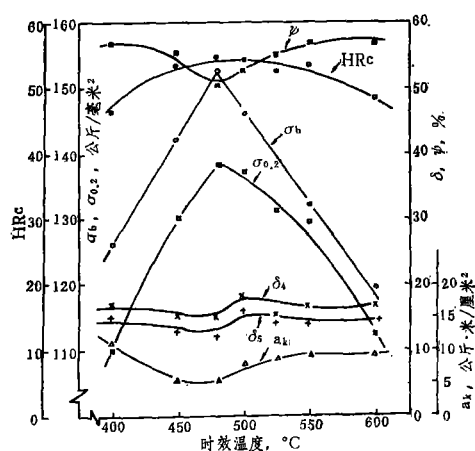
图1c的试验结果表明,在480℃时效45分钟以后,已达到最高强度,继续增加时效时间,强度指标略有下降,塑性、韧性指标略有上升,但各项性能指标并不显示出有意义的变化。所以一般时效时间取1小时已足够。

2. 不同热处理条件的组织形态

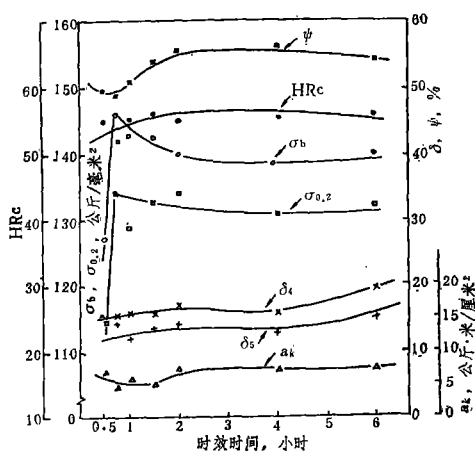
固溶后空冷的1Cr17Ni4Cu3钢是 α 马氏体



a. 不同固溶温度



b. 不同时效温度



c. 不同时效时间

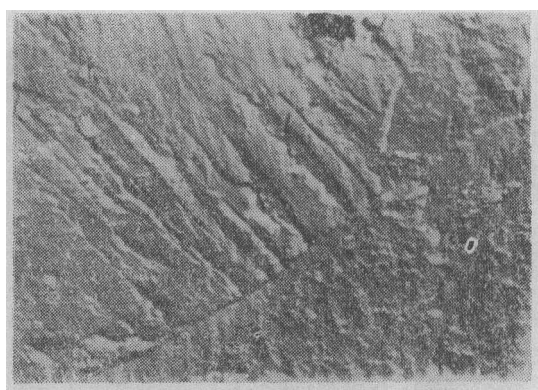
图 1 热处理对1Cr17Ni4Cu3钢室温机械性能的影响

和2~5% δ 铁素体的混合组织(图2a)。马氏体基体为等轴晶粒,它是一种无沉淀的板条状马氏体结构,在板条马氏体中偶然地存在显微孪晶(图2b)。 δ 铁素体沿轧制方向拉长,在电镜高倍下,可以看到 δ 铁素体上有许多微粒状沉淀物(图3)。它的形状和分布不受时效的影响,有人认为这是在凝固和热加工期间形成的NbC。

固溶后经稍微过时效处理,如在500°C时,开始析出面心立方的 ϵ -Cu沉淀相,而600°C的过时效,则在整体基体上都析出 ϵ -Cu沉淀相粒子(图4)。



a. 光学金相组织 $\times 500$



b. 电子金相组织 $\times 10000$

图 2 1050°C固溶处理,未经时效的显微组织

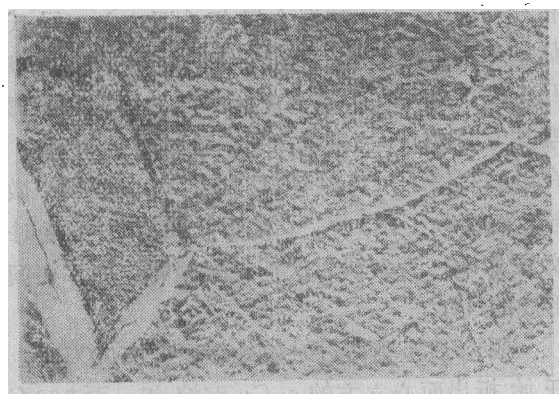


图 3 1050°C固溶480°C时效
1小时的电子金相组织
(左面方块为 δ 铁素体)



图 4 1050°C固溶600°C时效
1小时的电子金相组织



图 5 1050°C固溶480°C时效360分钟 的
光学金相组织



图 6 900°C固溶480°C时效 1小时的电子
金相组织

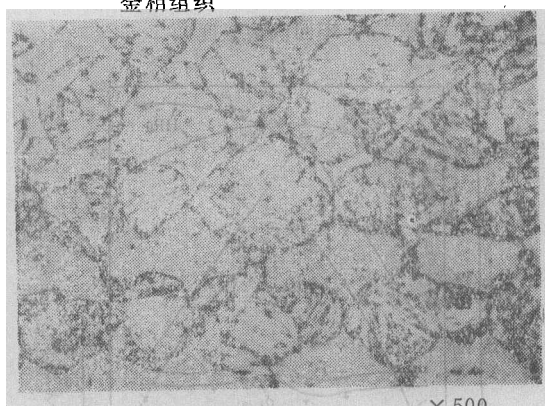


图 7 1300°C固溶480°C时效1小时的 光
学金相组织

在480°C时效不同时间,没有明显的组织变化,但过多的时效时间(360分钟)导致晶内析出少量微粒状沉淀相(图5)。

固溶温度低于1000°C时,在马氏体基体及 δ 铁素体周围可看到较多未溶于奥氏体的 $M_{23}C_6$ 粒状碳化物。尤其在900°C以下的固溶处理,则出现形态类似于索氏体、屈氏体的组织(图6)。

当固溶温度高于1100°C时,导致晶粒粗化, δ 铁素体量有所增加。而固溶温度为1300°C时,钢中的 δ 铁素体数量显著增加,局部呈现断续网状分布(图7)。

三、讨 论

综上所述,在低于1100°C固溶处理时,材料强度的变化与其中碳化物溶解的程度有关。

因为它影响到奥氏体的稳定性和马氏体转变点。在较低温度加热时,原先轧制、退火形成的碳化物的一部分没有溶解到奥氏体中去,造成奥氏体中碳含量和合金元素的贫化,因此降低了奥氏体的稳定性,提高了马氏体开始转变的温度,同时冷却到室温时获得的马氏体含碳量较少,所以材料的强度也较低。固溶温度越高,碳化物溶解越充分,冷却到室温后的最后强度也越高。但在超过1100℃以后,由于 δ 铁素体数量增加,晶粒粗化,造成材料强度降低,前者还使材料的横向性能变坏,后者引起材料塑性、特别是断面收缩率下降。此外,在过高固溶温度下,由于 δ 铁素体的增加和碳化物充分溶解于奥氏体,富集了碳和合金元素的奥氏体稳定性增加, M_s 、 M_f 点降低,结果使奥氏体数量增加,对材料的强度也有所影响。但近来的研究表明,适量的残余奥氏体存在可以显著提高断裂韧性,降低裂纹扩展速率。

不同时效温度和时效时间对性能的影响是与材料时效时沉淀硬化的过程相联系的。当1Cr17Ni4Cu3钢在低于480℃时效时,Cu原子趋向于聚集成区,接续或附着在母相上,因而

引起点阵畸变及强化,最大的强化出现在产生可见粒子之前。当沉淀区长大到一临界尺寸,并在第二相之间形成一个表面或晶界时,内聚现象消失,因而减少了点阵畸变,降低了强度,出现了称作过时效的现象,这就是超过480℃的时效或在480℃长时间时效的情况。简而言之,过时效是由于沉淀作用、马氏体基体的回火及部分奥氏体的重新形成综合作用的结果。

四、结 论

1. 研究表明,1Cr17Ni4Cu3钢在1050~1100℃固溶,480℃时效时可以达到最高强度级。时效时间以1小时为宜。经稍微过时效,强度降低,但有较好的综合性能。

2. 未经时效的1Cr17Ni4Cu3钢的组织为 α -马氏体和2~5% δ 铁素体。在低于480℃时效时,马氏体基体上只形成在显微镜下不能觉察的Cu富集区,经稍微过时效,才析出面心立方的 ϵ -Cu沉淀相。

3. 在时效时,该合金的最大强化出现在产生可见的粒子之前,而一旦析出在显微镜下可见的微粒状沉淀相,就会引起合金强度降低。



F/A-18A飞机用AF1410钢

AF1410是根据美国空军提议研制的一种新的高强度高断裂韧性钢,成分为0.13~0.17碳,0.10锰,0.10硅,0.008磷,0.005硫,1.80~2.20铬,9.50~10.50镍,13.50~14.50钴,0.90~1.10铝,0.015钛,0.015钼,0.0015氧,0.0015氮。

经热处理后钢的机械性能:拉伸强度165公斤/毫米²,屈服强度150公斤/毫米²,延伸率12%,断面收缩率60%, K_{IC} 457公斤/毫米²毫米^{3/2}。

锻造温度为980~1175℃,终锻温度为845℃。

钢的可机加工性比其它一些高强度钢好,在900℃正火1小时和675℃过时效8小时后的结果最好。

在焊接方面,采用气体保护金属极弧焊可获得坚固的焊接接头。

AF1410钢的热处理:锻造温度1175℃(最高);900℃正火,空冷。

奥氏体化:经正火或正火+过时效处理后,在830℃加热1小时,空冷,冷至-75℃,空气中保温,510℃时效5小时(至少),空冷。

上述性能表明,在F/A-18A飞机上使AF1410钢代替HP-9-4-20将可减轻重量。因此,诺斯罗普飞机公司决定对这个新材料进行评价。为了确定低形变热处理对钢的机械性能和断裂韧性的影响,该公司对AF1410进行了补充试验,并将这些性能连同裂纹扩展速率、应力腐蚀敏感性及频谱疲劳强度一起与HP-9-4-20作了比较。

在空气和人工海水中试验表明,AF1410钢的裂纹扩展速率与HP-9-4-20钢差不多,而拉伸强度、疲劳强度及耐腐蚀等性能优于比HP-9-4-20钢。但生产成本约比HP-9-4-20钢高2倍。

AF1410钢可用作条材、棒材、板材及焊丝,主要用于飞机的结构件。

袁摘自“Metal Progress”,
March 1981