

淬火冷速对1Cr11Ni2W2MoV钢 组织与性能的影响

钟 培 道

一、前 言

1Cr11Ni2W2MoV钢是在12%Cr钢的基础上加入W、Mo、V等合金元素而发展起来的一种马氏体型热稳定不锈钢。由于这种钢具有良好的抗腐蚀性能,又能通过热处理获得高的力学性能,因而被广泛地用来制做航空发动机的压气机叶片、盘及涡轮轴等重要承力零件。该钢在我国航空工业中使用时间较长,暴露出来的主要问题有:①钢的成分在规定范围内变动,冲击值波动幅度大,高者可达 $20\sim 30\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$,低者达不到标准规定的 $7\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$;②回火脆性区随钢的成分不同变化大,标准中规定的回火温度下限有时落入脆性坑内;③淬火介质适应性差,油冷淬火和空冷淬火的性能差别很大;④该钢所制叶片在使用中表面腐蚀严重,导致疲劳强度大幅度降低,危及使用安全^[1,2]。几年来,我们对该钢做了一些试验研究工作,本文仅叙述有关淬火冷速对该钢组织与性能的影响。

二、试验过程

本工作采用抚顺钢厂生产的电渣钢热轧棒材,炉号为A1D50233,化学成分见表1。

表 1

化验单位	C	Cr	Ni	W	Mo	V	Si	Mn	S	P
抚顺钢厂	0.13	11.07	1.58	1.79	0.40	0.24	0.20	0.25	0.008	0.025
六二一所	0.13	11.11	1.58	1.80	0.37	0.24	—	—	0.004	0.026

为了便于机械加工,将棒材锻轧成试料,然后按如下规范进行热处理。

加热至 1010°C 保温30分钟,分别按油冷、空冷和埋入热灰中冷三种方式将试样冷却至室温,然后一并在 560°C 炉中回火保温2小时,出炉空冷。按要求加工成试样。

力学性能按标准试验方法测定。应力腐蚀采用 $2.0\times 10\times 110\text{mm}$ 试样,用三点弯曲法加载至屈服强度的80%,置于环境温度为 35°C 的交替轮上。试样在空气中保持25分钟,在3.5%NaCl中浸泡5分钟,30分钟为一循环周期,观察试样的断裂时间。盐雾腐蚀采用 $2.0\times 35\times 70\text{mm}$ 试样,悬挂在环境温度为 35°C 的盐雾箱中,每小时喷3.5%NaCl盐雾15分钟,100天后测其腐蚀失重。点腐蚀试验是用阳极极化法求击穿电位,试样表面积为 $10\times 10\text{mm}$ 。组织结构分析采用了光学金相、电子金相(包括复型萃取、薄膜透射、电子衍射)等手段。

三、试验结果

图1示出淬火冷速对1Cr11Ni2W2MoV钢力学性能的影响。淬火冷速对该钢的抗拉强度(σ_b)、屈服强度($\sigma_{0.2}$)影响不大,对延伸率(δ)和断面收缩率(ψ)有影响,以空冷者为低,对冲击韧性(a_k)影响明显,随着

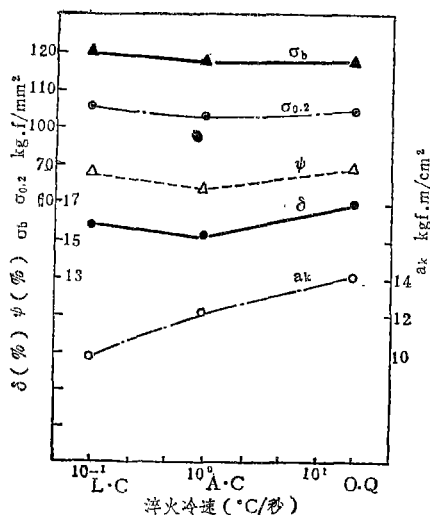


图 1 淬火冷速对 1Cr11Ni2W2MoV 钢力学性能的影响

L.C—埋灰冷 A.C—空冷 O.Q—油冷

淬火冷速的减慢，冲击韧性恶化。

图2为不同 淬火冷速对 1Cr11Ni2W2MoV 钢应力腐蚀、盐雾腐蚀性能的影响。随着淬火冷速的减慢,该钢的抗应力腐蚀性能急剧恶化。在施加同样的应力下,油冷的破断寿命比埋灰冷高出近10倍。油淬试样的盐雾腐蚀失重也明显低于空冷和灰冷试样。图 3 为盐雾腐蚀试样外观,油冷者表面只有轻微的腐蚀,而灰冷者表面腐蚀严重。图 4 为不同 淬火冷速下1Cr11Ni2W2MoV钢的阳极极化曲线(在3.5% NaCl 中测定)。在阳极极化曲线上由于产生点蚀而使电流开始急剧上升的电位称为点蚀击穿电位。击穿电位越高,抗点蚀性能越好。显然,油冷的抗点蚀性能优于空冷和灰冷。这和经应力腐蚀试验后,试样表面遭受的点蚀情况是一致的,见图 5。油冷试样上只有个别的腐蚀点,而埋灰冷试样表面布满了点蚀坑。

上述试验结果说明,淬火冷速对1Cr11Ni2W2MoV钢的应力腐蚀、盐雾腐蚀及点蚀性能有着十分明显的影响。由于压气机叶片往往是在交变应力作用下导致疲劳失效,绝大部分的疲劳裂纹起源于叶片表面的点腐蚀或应力腐蚀损伤处。也就是说,抗腐蚀性能是压气机叶

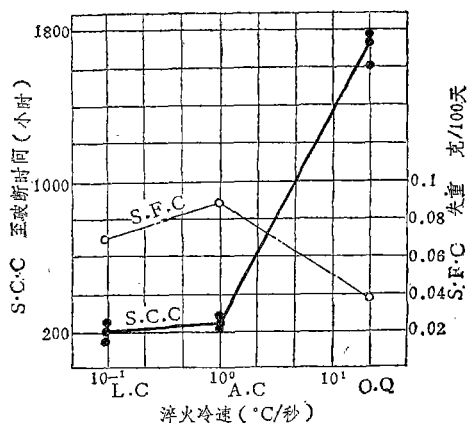


图 2 淬火冷速对 1Cr11Ni2W2MoV 钢抗应力腐蚀 (S.c.c) 和抗盐雾腐蚀 (S.F.C) 性能的影响



图 3 1Cr11Ni2W2MoV 钢不同淬火冷速处理后的盐雾腐蚀试样外观

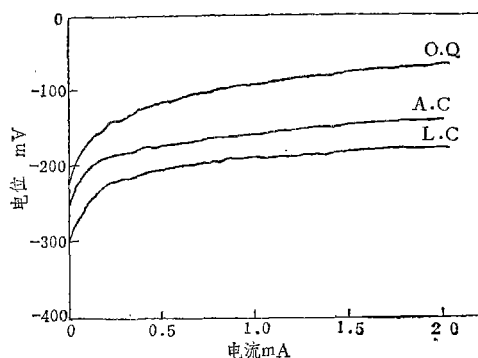


图 4 1Cr11Ni2W2MoV 钢经不同冷速淬火的阳极极化曲线 (在 3.5% NaCl 溶液中测得)

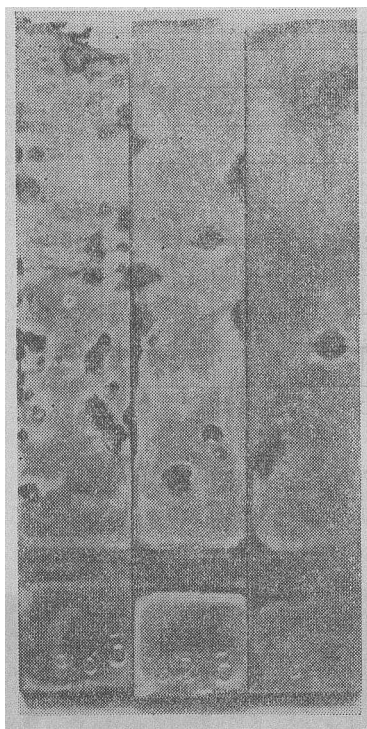


图 5 1Cr11Ni2W2MoV 钢经不同淬火冷速处理的应力腐蚀试样速度的点腐蚀

埋灰冷 空冷 油冷

片的主要失效抗力指标。因此该钢的淬火冷速应引起冶金工作者的高度重视。

众所周知，零件在油中淬火冷却，由于油的成分和温度都有明确的规定，因此，冷速在比较窄的范围内变动，能够保证产品质量的均匀性。空冷淬火，不仅冷速比油慢，且冷速波动范围大。单件冷与成堆冷，冷速不一样，堆中心的冷却速度要慢得多。零件的几何形状、体积大小及环境温度等都会影响零件的实际冷却速度。因此，空冷淬火不仅不能保证零件获得良好的性能，而且还无法保证质量的均匀性。

四、结果讨论

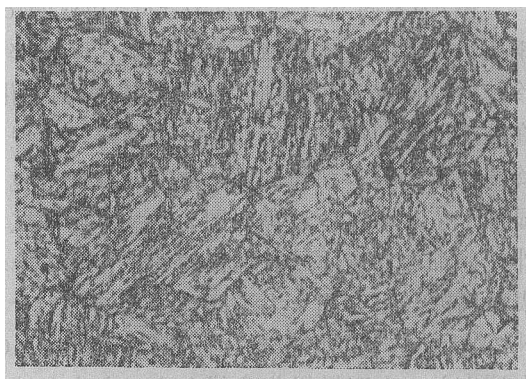
由于 1Cr11Ni2W2MoV 钢中铬 镍等合金元素的含量较高，使 C 曲线大大右移，临界淬火冷速小，即使以很慢的冷速（象炉冷）淬火至室温，所得到的绝大部分组织仍然为马氏体，因而油冷、空冷和灰冷淬火在强度上反映不出差别来。在淬火冷速大于临界冷速的情况下，

淬火冷速加快，使阵化稳定现象减弱，残余奥氏体量减少，反之残余奥氏体量增加。图 1 表明，淬火冷速减慢，冲击韧性降低，这和残余奥氏体量的增加似乎相矛盾。这是因为，对冲击韧性有影响的组织因素，一是板条马氏体的束径和块宽，二是残余奥氏体的数量、形态和分布。

图 6 为 1Cr11Ni2W2MoV 钢在三种冷速下



a. 油冷 500X



b. 空冷 500X



c. 埋灰冷 500X

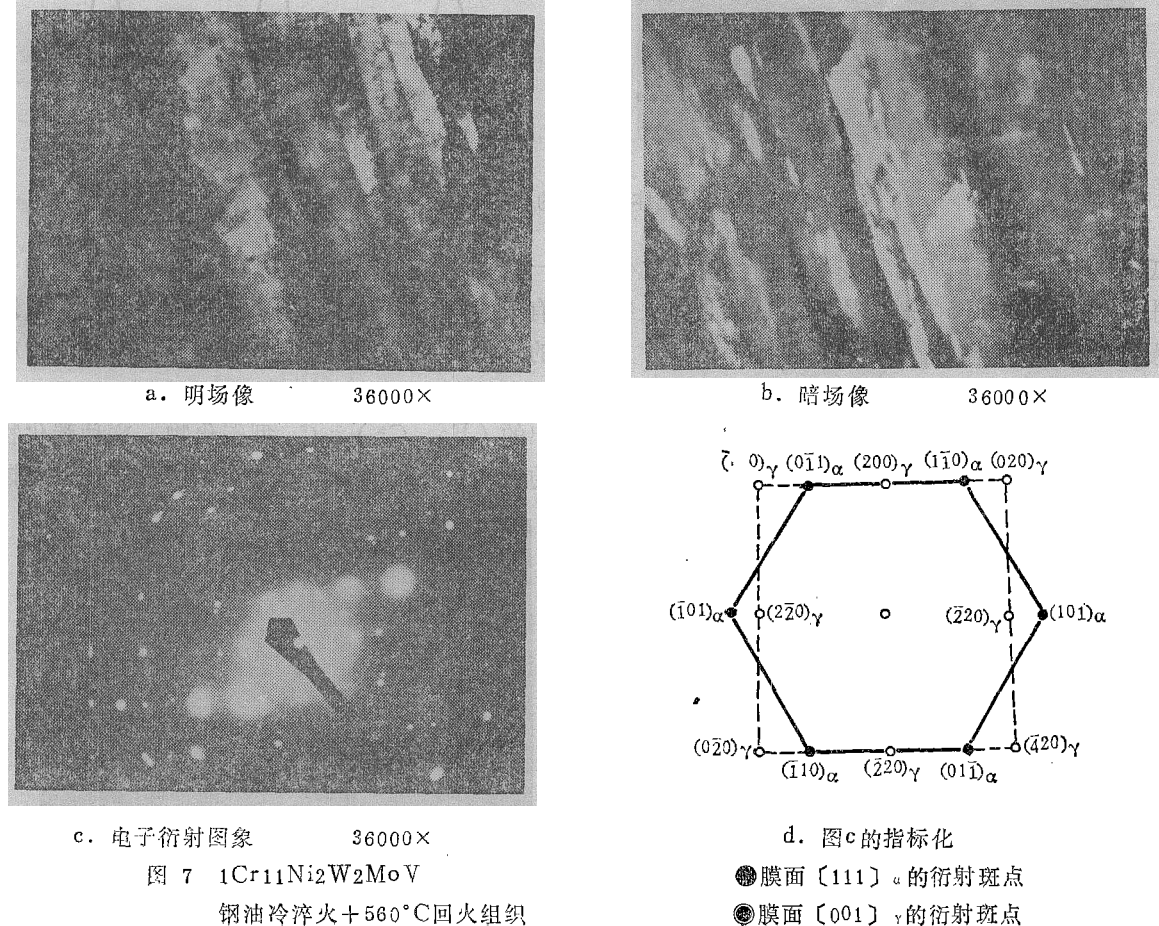
图 6 1Cr11Ni2W2MoV 钢在不同淬火冷速下的金相组织

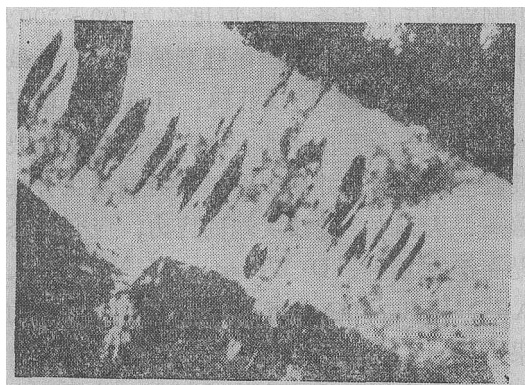
淬火的光学金相组织，均为板条马氏体。随淬火冷速加快，板条马氏体的束径和块宽都变小，组织变细，对钢的韧性贡献很大。这和P.Doig等人所做的工作是一致的^[3]。

残余奥氏体对钢的性能的影响取决于其数量、形态和分布。呈块状分布于晶粒之间、马氏体的束与束、块与块之间的残余奥氏体，对韧性的贡献取决于其稳定性。一般地说，稳定性高的残余奥氏体，数量增加，强度下降，而塑性和韧性得到改善^[4,5]。如果稳定性差，在回火过程中发生分解与转变，则对钢的韧性产生不良影响^[5]。图7为1Cr11Ni2W2MoV钢油冷淬火+560℃回火的薄膜透射电镜照片：明场可见到细小的马氏体板条和在板条内的位错亚结构；暗场像及电子衍射证实了马氏体板条间分布着薄膜状残余奥氏体。这种奥氏体被

限制在马氏体板条之间，厚度约为100~200 Å，非常薄，呈薄膜状，产生强烈的畸变^[6]。虽经560℃回火，仍未发现分解，可见其热稳定性高。这种残余奥氏体的存在，使材料在断裂时吸收能量增加，并使裂纹扩展方向发生分枝或偏离，从而改变裂纹尖端的应力、应变状态，提高钢的韧性。D.Webst., G.Y.lai等人对AFC-77和4340钢进行的试验也得到类似的结果^[7,8]。

在空冷和灰冷淬火的试样上，除了观察到如图7所示的马氏体板条和板条内的位错亚结构以及存在于板条间的薄膜状残余奥氏体外，还观察到存在于粗大板条内的相变孪晶，如图8所示。这种相变孪晶虽然数量不多，但灰冷淬火比空冷淬火的数量要多些。同时在有相变孪晶亚结构的板条之间，没有见到薄膜状残余奥





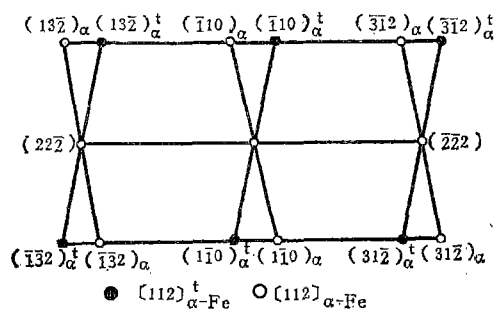
a. 明场像 36000×



b. 暗场像 36000×



c. 电子衍射图象



d. 图c的指标化

图 8 粗大马氏体板条内的相变孪晶 (灰冷淬火)

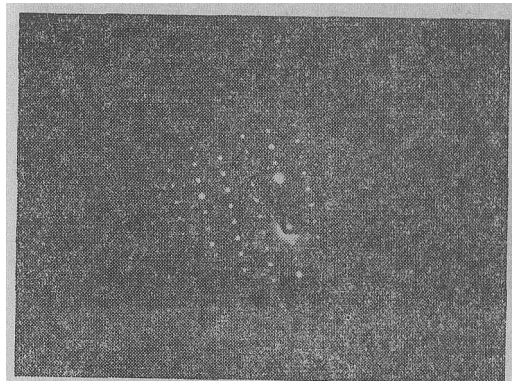
氏体。相变孪晶阻碍滑移变形，固然有强化作用，但对韧性却产生恶劣影响。这就是淬火缓慢冷却引起冲击韧性降低的原因。

压气机叶片的腐蚀损伤主要是点腐蚀。点腐蚀不仅降低疲劳强度，成为疲劳裂纹的起源地，而且也是诱发应力腐蚀的主要原因之

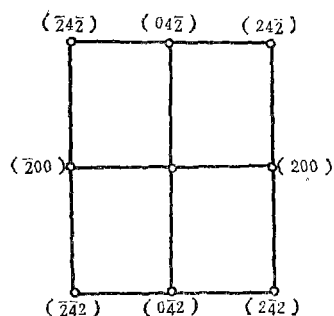
一^[9]。金属的抗点蚀性能与其表面的均匀性有关。碳化物或非金属夹杂物等都会成为点蚀的形核处。如果淬火火冷缓慢，铬的碳化物就有条件析出。图9为灰冷淬火过程中沿晶界析出的 $(Fe, Cr)_{23}C_6$ 型碳化物。这种碳化物的析出，在晶界附近形成贫铬区，成为点腐蚀



a. 沿晶碳化物 (明场像) 36000×



b. 碳化物电子衍射斑点 $M_{23}C_6$ [012]



c. 图b的指标化

图9 1Cr11Ni2W2MoV钢在淬火缓冷过程中沿晶界析出的 $M_{23}C_6$ 型碳化物

出现的敏感位置。Brigham和Szkarska-Smilowska等人观察到点腐蚀首先在晶界上形核^[10,11]。在油冷淬火试样上,很少观察到这种粗大的碳化物,因而抗腐蚀性能明显优于空冷、灰冷淬火的试样。我们在Cr17Ni2所做的工作中曾发现,淬火冷却过程中析出的 $Cr_{23}C_6$ 对腐蚀性能的影响远远大于回火过程中析出的 $Cr_{23}C_6$ ^[12]。

五、结 论

1. 淬火冷速对1Cr11Ni2W2MoV钢的强度影响不大,但随着淬火冷速的减慢,冲击韧性降低,抗腐蚀性能明显恶化。因此,在实际生产中应采用油冷淬火,尽量避免空冷淬火,对以抗腐蚀性能为主要失效抗力指标的压气机叶片来说,更应如此。

2. 马氏体板条内出现相变孪晶亚结构和沿晶界析出 $M_{23}C_6$ 型碳化物,是导致1Cr11Ni²W2MoV钢冲击韧性和抗蚀性能降低的主要原因。

附记:本工作得到了宋德玉、袁品珍、吴荣贵、郭玉海、祝品瑞等同志的大力协助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 涡轴型发动机二级压气机叶片故障分析,六二一所,1976年。
- [2] 关于马氏体型不锈钢热处理的几个问题,六二

一所,1983年。

- [3] P. Doig, D. J. Chastell and P. E. J. Flweitt, Metallurgical Transactions, Vol.13A, 1982, 913~921.
- [4] R. H. Richman et al, met. Trans., 6, 1975.5, 95~104.
- [5] 冈林邦夫等,铁与钢, 62.1976.6, 661~669.
- [6] B. V. N. Rao, Proc. of End Int Conf. on Martensitic Transformation (ICO-MAT-79), Boston, 1979, P12.
- [7] D. Webst et al, Met. Trans., 2.1971, 1857.
- [8] G. Y. Lai et al, Met. Trans., 5.1974, 1663.
- [9] 钟培道, 航空材料, 5.1980, 16~22.
- [10] R. J. Brigham, Corrosion, 39.1973, 33.
- [11] Szkarska-Smilowska et al, Corrosion Science, 7.1967, 65.
- [12] 钟培道, 金属热处理, 12.1980, 27~32.

× × × ×

热处理技术改造分析论证会在沈召开

热处理技术改造分析论证现场会于1984年2月25~29日在沈阳召开。这次热处理事业的空前盛会是六二一所、四院,北航、三〇一所和一一二厂受部计划司和科技局委托共同筹备组织、由部科技局主持的,是在充分准备的基础上召开的。厂、所、院、校共20个单位近百名代表(其中包括特邀的专家、学者和教授)聚集一堂,帮助一一二厂分析论证了该厂的热处理技术改造方案,同时讨论了航空部热处理行业的共性问题,明确了飞机工厂热处理技术改造的基本方向。与会代表一致认为,这次会议对于改变我部工厂热处理工艺和设备的落后面貌将起着一定推动作用。

(刘忠秋)