



V—2.4/9 空压机阀片强韧化工艺研究

北京南口机车车辆机械厂 (102202) 武德全

气阀阀片是往复式空气压缩机(简称空压机)的重要零件之一。近年来,随着机车“高速、重载”的发展,空压机的运行工况较以前更为恶劣,阀片发生断裂的频次较高,导致空压机不能正常工作,严重影响了在线机车的安全行驶,为此我厂为提高 V—2.4/9 空压机阀片的使用寿命做了大量的工作,包括材质选用 2Cr13、3Cr13 等马氏体型不锈钢,结构形

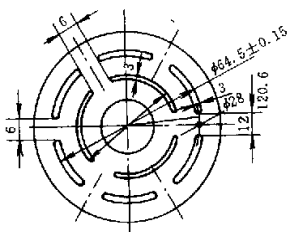


图1 V—2.4/9 空压机阀片

状阀片,并加大阀片厚度(见图1),取得了一定的成效,但对阀片用 2Cr13、3Cr13 类马氏体型不锈钢热处理强韧化工艺还未做过试验研究。

2Cr13、3Cr13 类马氏体型不锈钢在调质状态下有较高的强韧性和良好的抗蚀性,此类钢在调质状态下的强韧性受钢中碳化物析出的状态与数量控制,因此研究阀片用钢的碳化物析出规律对控制阀片产品质量及改善其强韧性有着重要的意义。

3Cr13 类马氏体型不锈钢中碳化物析出的一般规律为:在接近平衡冷却的条件下,在 $A_{r1} \sim A_{r3}$ 之间将析出 $M_{23}C_6$ 型碳化物(先共析碳化物),在 A_{r1} 以下以屈氏体形态析出共析碳化物 $M_{23}C_6$ 。在淬火后回火过程中析出时,随着回火温度的升高依次析出 M_3C 、 M_7C_3 、 $M_{23}C_6$ 、 M_2X 型碳化物,碳化物的转变总是以低温形成的碳化物在较高温度下重新溶解的方式析出,而很少依靠原有碳化物粒子原位形核长大。

本文根据该类钢中碳化物析出规律的研究,重点讨论 3Cr13 钢调质工艺中的奥氏体化温度、冷却速度及不同调质工艺对其碳化物析出规律和强韧化的影响。

一、试验材料及方法

1. 试验材料

试验材料采用 3Cr13 钢,其化学成分(质量分

数)见表1,试样由 $\phi 120\text{mm}$ 圆钢改锻成所需尺寸。

表1 试验用 3Cr13 钢的化学成分(质量分数)(%)

C	Cr	Mn	Si	P	S
0.29	12.47	0.23	0.39	0.02	0.014

2. 试验方法

(1) 试验方案 ①为研究碳化物在不同奥氏体化条件下冷却时的析出对材料韧化的影响,我们将 $11\text{mm} \times 11\text{mm} \times 60\text{mm}$ 试样加热到不同奥氏体化温度,并在 $> A_{r1}$ 不同温度下保温,此时将从奥氏体中沿晶析出 $M_{23}C_6$ 型碳化物,将保温后的试样迅速淬油,并在 700°C 回火,然后观察金相形貌并测定其冲击值(α_K)。②为研究不同冷速对碳化物析出的影响,试样分别以 $5 \sim 75^\circ\text{C}/\text{min}$ 冷速冷却到 $< 300^\circ\text{C}$ 淬油,分别测定沿晶界析出的碳化物及屈氏体的体积分数,并测定在不同冷却速度后的 α_K 值,然后观察不同冷却速度条件下碳化物的金相组织。③经不同的调质工艺处理后形成不同形式的碳化物分布对 3Cr13 钢强韧性的影响。

(2) 处理条件 试样分别在高温箱式炉及 20kW 盐浴炉中加热,冷却速度由功率调节仪控制。

(3) 测试仪器 强度、塑性试样在 WE—10A 材料试验机上测试;冲击韧性试样在 JB—30A 冲击试验机上测定;断裂韧性 K_{IC} 值用 B10 试样在 PW3—10 高频疲劳试验机上测定,用 J_R 阻力曲线法测定 J_{IC} 值并转算成 K_{IC} 值;用 Neophot—21 型显微镜观察金相组织;在 XDT—10 透射电子显微镜下观察碳化物萃取复型。

二、试验结果与讨论

1. 奥氏体化温度的影响

在相同冷却条件下奥氏体化温度对 3Cr13 钢调质处理后的冲击韧度的影响见表2。

从表2看出,在相同冷却条件下,提高奥氏体温度或延长保温时间,将由于奥氏体晶粒粗化而使 α_K 值下降。表2还说明,在相同奥氏体化条件下降低等温温度,沿晶析出的碳化物的数量将增加,从而使 α_K 值趋于下降。

表 2 相同冷却条件下奥氏体化温度对 3Cr13 钢调质处理后冲击韧度的影响

编号	奥氏体化温度 及保温时间	冷却方式	回火方式	α_K /J·cm ⁻²
1-1-1	950℃×60min	850℃×60min→油淬	700℃×2h	16
1-1-2		750℃×30min→油淬		15
1-2-1	1000℃×60min	850℃×60min→油淬		15
1-2-2		750℃×30min→油淬		14
1-3-1	1050℃×90min	850℃×60min→油淬		10.6
1-3-2		750℃×60min→油淬		9.5

图 2 为在奥氏体化后在 $> A_{r1}$ 温度停留后再淬油冷却时沿奥氏体晶界碳化物析出的一次碳复型的 SEM 像, 可看到沿晶分布的白亮 $M_{23}C_6$ (箭头所示)。试样 A 因奥氏体化时间较长, 固溶较为充分, 而分级冷却温度又较低, 因此沿较粗大的奥氏体晶界析出了接近网状分布的碳化物。试样 B 因奥氏体化固溶较短, 因此沿晶析出的碳化物较少, 呈链状。试样 C 与试样 A 的奥氏体化条件相同而分级冷却的温度较高, 因此碳化物仅呈粒状分布析出。

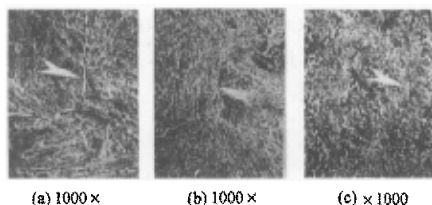


图 2 在不同冷却条件下碳化物 $M_{23}C_6$ 沿晶析出一次碳复型

- (a) 网状分布 (1050℃×90min→750℃×30min→油淬→700℃×2h)
- (b) 链状分布 (1050℃×60min→750℃×30min→油淬→700℃×2h)
- (c) 粒状分布 (1050℃×90min→850℃×60min→油淬→700℃×2h)

2. 相同奥氏体化条件下不同冷却方式的影响

将 3Cr13 试样分别加热到 1050℃奥氏体化, 再过冷到 $> A_{r1}$ 的不同温度停留, 然后再淬油、回火, 测定其冲击韧度, 其结果见表 3。

表 3 3Cr13 钢在相同奥氏体化温度下, 在 $> A_{r1}$ 温度停留时对 α_K 值的影响

编号	奥氏体化温度 及保温时间	冷却方式	回火方式	α_K /J·cm ⁻²
2-1-1	1050℃×60min	850℃×20min→油淬	700℃×2h	13
2-1-2		750℃×30min→油淬		9.5
2-2-1	1050℃×60min	850℃×60min→油淬		10.5
2-2-2		炉冷到 600℃→油淬		10
2-2-3		750℃×60min→油淬		8.5

可以看出, 越接近 A_{r1} 温度, 停留时间延长, 沿晶析出碳化物越多, 从而使 α_K 值趋于下降。但若降低奥氏体化温度, 则在 $A_{r1} \sim A_{r3}$ 温度下停留或缓冷的有害作用将减少 (见表 4)。

表 4 奥氏体化温度及在 $A_{r1} \sim A_{r3}$ 温度停留对 α_K 值的影响

编号	奥氏体化温度 及保温时间	冷却方式	回火方式	α_K /J·cm ⁻²
3-1	1050℃×90min	750℃×5min→油淬	700℃×1h	12.5
3-2	1000℃×60min			17
3-3	950℃×90min			18

3. 冷却速度的影响

试样分别在 1000℃、1050℃两个奥氏体化温度下加热, 再以 5~75℃/min 冷却到 $< 300^\circ\text{C}$ 淬油, 分别测定不同冷速对淬火、回火后的 α_K 值的影响 (见图 3)。

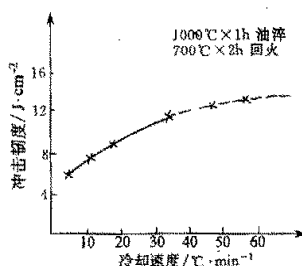
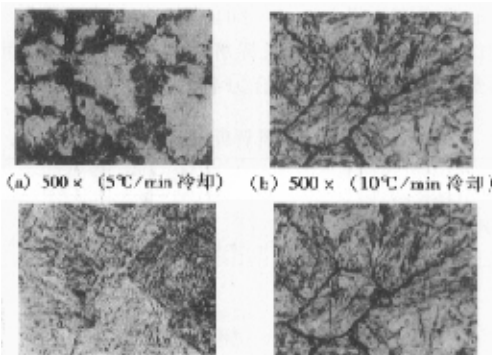


图 3 冷却速度对 α_K 值的影响

试验表明, 提高冷速将使调质后的 α_K 值升高, 过冷奥氏体在低于冷却速度大约在 30~35℃/min 冷却, 高于此临界冷速时对 α_K 值无显著影响。

3Cr13 钢过冷奥氏体在不同冷速下沿晶析出的金相组织见图 4。



(c) 500× (35℃/min 冷却) (d) 500× (75℃/min 冷却)
图 4 3Cr13 钢不同冷速下的金相组织 (1050℃×60)



4. 二次淬火的影响

为了进一步了解在非平衡冷却时沿晶析出的碳化物对重新加热淬火时奥氏体均匀化及韧性的影响,我们将经奥氏体化后的试样以 5℃/min、35℃/min、75℃/min 冷却速度冷却,然后再分别将上述试样重新加热到 990℃,并停留不同时间后淬油、700℃回火,测定其 a_K 值(见图 5)。

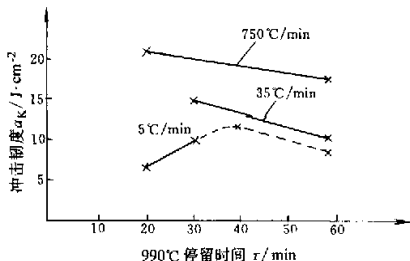


图 5 二次加热时保温时间对 a_K 值的影响

试验结果表明,冷速大于 35℃/min 冷却,试样因碳化物析出被抑制,其 a_K 值只与奥氏体晶粒长大有关。

5. 调质工艺的影响

通过对 3Cr13 钢的奥氏体化温度、冷却方式、冷却速度等各因素的研究,改变调质工艺可以在一定程度上改变碳化物在基体中的分布状态,从而改善 3Cr13 类马氏体不锈钢的强韧性。

表 5 中两种不同的调质工艺,其中采用等温淬火、回火后其常规力学性能较好,但 K_{IC} 值下降明显。从断口特征上看,多为沿晶断裂,这与淬火冷却时沿晶析出的碳化物分布较多有关;而采用二次淬火处理后因碳化物分布均匀,沿晶碳化物析出少且弥散分布,奥氏体晶粒细化从而使淬火马氏体组织细,使其沿 M 板条束界解理的路径曲折,从而提高了解理抗力,其综合力学性能最好。

表 5 3Cr13 钢不同调质工艺的力学性能

序号	调质工艺	力学性能				
		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	ψ (%)	a_K /J·cm ⁻²	K_{IC} /N·mm ^{3/2}
1	等温淬火 1030℃×60min→ 250℃硝盐槽×3h 淬 火→600℃×1h 回火	920	740	58	20.5	3520

(续)

序号	调质工艺	力学性能				
		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	ψ (%)	a_K /J·cm ⁻²	K_{IC} /N·mm ^{3/2}
2	二次淬火 1050℃×90min →油淬→450℃× 3h 回火→960℃× 60min→油淬→ 600℃×1h 回火	890	720	65	22.5	5800

三、强化处理在生产中的应用

原阀片的调质处理工艺为 1030~1050℃加热、油淬,600~620℃回火。阀片的使用寿命在 10~20 万公里左右;经结构形状及调质工艺的改进后(采用二次调质处理,第一次在 1030~1050℃加热、油淬,第二次在 960℃加热,油冷后再进行 600~620℃回火),在石家庄机务段、北京机务段、南昌机务段各装车两台份(16 套 V—2.4/9 空压机阀片)进行试验,运行约 30 万公里无断裂。2002 年 5 月我厂生产的 V—2.4/9 空压机全部采用改进后的阀片,装备 V—2.4/9 空压机约 200 台,装车时间长短不一,最长的将近一年,还未发现阀片断裂。

四、结论

(1) 沿晶析出的碳化物可以在奥氏体化后以低于某一临界冷却的条件下析出,也可在淬火后的回火过程中析出。试验表明,过冷奥氏体中析出碳化物的临界冷速大约为 30~35℃/min。

(2) 奥氏体化温度越高,在 $Ar_1 \sim Ar_3$ 温度区间停留或缓冷,均增加碳化物沿晶析出的倾向。沿晶析出的碳化物越多并呈网状分布对韧性恶化作用就越大。

(3) 再次加热奥氏体化时沿晶析出的碳化物必须在较高温度及较长固溶时间下才能溶解,并以大于临界冷速冷却,沿晶碳化物析出越多,高温固溶时间越长。

(4) 3Cr13 类马氏体不锈钢在调质处理下的强韧性主要受碳化物析出所控制。通过改进调质工艺可显著改善碳化物在基体上的分布,从而改变了疲劳断裂的物理过程,阻止沿晶断裂发生并提高了沿 α 相板条束界解理断裂应力,从而提高了强韧性。

(5) V—2.4/9 空压机阀片采用两次调质工艺,其疲劳断裂寿命可提高 1~2 倍。 (20031128)