0Cr11Ni2MoVNb钢离子渗氮工艺研究

刘建平　王蔓

【摘要】对0Cr11Ni2MoVNb钢的渗氮前热处理、离子渗氮工艺及防渗涂料进行了研究。试验结果表明：该材料按“1030℃淬火+650℃回火”的热处理工艺进行调质处理，所获得的组织适合渗氮。在离子渗氮试验中，当渗氮温度、氨气流量、电压、电流及保持时间等工艺参数合理匹配时，不但可在试样的外凸表面获得符合技术要求的渗氮层，还可在截面为6mm×6.5mm的凹形槽表面获得符合技术要求的渗氮层，渗氮组织符合标准要求。

关键词：0Cr11Ni2MoVNb钢；调质；离子渗氮；渗氮层

0Cr11Ni2MoVNb 钢是一种新型马氏体热轧不锈钢，可通过热处理对其性能进行调整，可用来制造在较高温度下工作的零件。为了强化合金的表面层，提高它的耐磨性与在还原介质中的耐蚀性，采用渗氮技术是最有效的途径。该钢在组织与常规力学性能上与常用的13Cr11Ni2W2MoV很接近，但焊接性能比其好。该材料含有多种强渗氮物形成元素（Cr、Mo、V、Nb），这些元素可增加材料表面吸收活性氮原子的能力，又可降低氮在金属中的扩散系数，且这些合金元素的氧化膜也会阻碍零件对氮的吸收。

燃气轮机的支承轴承座零件采用该材质制造，局部表面渗氮，要求渗氮层厚0.4~0.6mm，国内尚无该材料的渗氮数据，而13Cr11Ni2W2MoV材料经过580℃×35h气体渗氮处理后，渗层深度只能达到0.26~0.30mm。因此，试验前推测该材料不易渗氮，如何使渗氮层达到规定厚度是本试验首先要解决的问题。

1. 试验

（1）材料　试验所用料0Cr11Ni2MoVNb钢是由宝钢集团上海五钢提供，其化学成分如表1所示。试验所用的离子渗氮

面积，影响防渗效果。

5. 结语

试验结果表明，榫头防护涂料采用有机粘结剂A+陶瓷性粉末C+金属粉末N的方案，涂覆2层能满足使用要求。

参考文献：

[1] 李克，张正义.航空高温合金用新型气相渗铝工艺研究[J].热处理，2009，24（05）：24-29.

[2] П Т科洛梅采夫.耐热扩散涂层[M].马志春，译.北京：国防工业出版，1988：218-221.

[3] 蔡煜.FAT-9防渗铝涂层研制总结[C].中国航空学会高温材料学术交流会论文集，1985.

[4] 何贤昶.陶瓷材料概论[M].上海：上海科普出版社，2005.

[5] 左瑞霖，李晨光，王慧.环氧类韧性耐烧蚀防热涂层的研究[J].宇航材料工艺，2011（02）：72-75.

作者简介：丁志敏、文钰、汪萍，中国航发南方工业有限公司；彭国平，陆军航空兵军事代表局驻株洲地区军事代表室。

MW 20170924

防渗涂料为AN600P。

（2）渗氮前处理　试样渗氮前经调质处理，调质工艺为：淬火1030℃×90~110min，油冷+回火650℃×120~140min，空冷。

（3）试样加工　将试样加工为25mm×20mm×15mm的长方体，并加工出截面为6mm×6.5mm的凹形槽（见图1），以便检验零件特殊结构处的渗氮效果。

（4）渗氮方法　离子渗氮比气体渗氮易于局部保护，且由于阴极溅射效应具有自动去除表面钝化膜和不易形成脆性白亮层的优点。鉴于以上原因，采用LD-200型离子渗氮炉进行离子渗氮试验。渗氮工艺方案如表2所示。

（5）试验设备　调质处理在型号Π-122热处理炉中进行。渗氮试验在型号为LD-200离子渗氮炉中进行。借助MEF4A光学显微镜分析试样的心部及渗氮层的金相组织。用HV21000 型显微硬度计测量离子渗氮试样的表面硬度。用布氏硬度计测量试样的心部硬度。

2. 试验结果与分析

（1）离子渗氮的特点及原理　离子渗氮工艺具有如下优点：①渗氮速度快，可缩短渗氮周期。②渗氮层脆性小。③可节约能源和氨的消耗量。④对不需要渗氮的部分可屏蔽起来，实现局部渗氮。⑤离子轰击有净化表面作用，能去除工件表面钝化膜。⑥渗层厚度和组织可控制。离子渗氮能有效提高钢铁等金属零件的耐磨性、疲劳强度、耐蚀性及抗烧伤性等性能，在现代制造业中得到了广泛应用。离子渗氮时，工件置于阴极盘上，炉壁为阳极，在阴阳极之间加以数百伏直流／脉冲偏压，炉内低压氮氢气体被电离，在电场的作用下以较大的能量轰击工件表面，产生大量的热量把工件加热到一定的温度，同时放电产生的活性氮原子在工件表面发生吸附、化合、扩散的物理-化学反应，获得一定深度的改性层。

（2）试样调质后的金相组织　入厂材料为热轧棒材，金相组织如图2所示，表明该材料空冷就可获得含有马氏体的组织，此时硬度为HB（d）3.5；经1030℃×90~110min油冷淬火后，金相组织如图3所示，从图片上可看出为淬火马氏体，此时硬度为HB（d）3.2；再经回火650℃×120~140min，空冷处理后，金相组织如图4所示，按HB5022—1994标准判定其心部组织为2级索氏体，硬度为HB（d）3.5，组织适合渗氮处理。

（3）渗氮层的硬度及组织　试样外凸表面离子渗氮试验结果如表3所示，试样凹形槽表面离子渗氮试验结果表4所示。通过数据可看出在渗氮温度、时间及电压一定的情况下，通过调整渗氮的氨气流量、电流，可获得不同深度的渗氮层，氨气流量和电流越大，渗层深度越深。在渗氮时间和氨气流量相同的情况下，随着渗氮温度、电压、电流的不同都对渗层的深度有影响。1号和5号试验方案满足零件设计要求的渗氮层深度，5号工艺的渗氮层组织级别好于1号试验方案。5号试验方案渗氮后渗层及心部金相组织如图5、图6所示。钢经离子渗氮后，渗氮层一般由

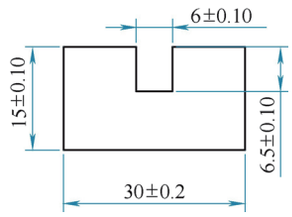

图1　渗氮试样尺寸

表1　0Cr11Ni2MoVNb化学成分（质量分数）　（%）

C	Cr	Ni	Mo	V	Nb
0.05~0.09	10.5~12.0	1.4~1.80	0.35~0.50	0.15~0.25	0.05~0.15
Si	Mn	S	P	Cu	Fe
≤0.60	≤0.60	≤0.020	≤0.030	≤0.30	余

表2　试验方案

方案	温度/℃	时间/h	氨气流量/L·min^{-1}	电压/V	电流/A
1	580	60	1.0	700	70
2	580	60	0.8	700	70
3	580	60	1.0	700	50
4	590	60	1.0	600	60
5	610	60	1.0	650	65

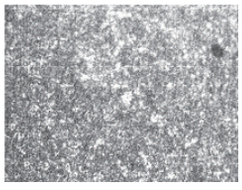
图2　热轧组织（500×）

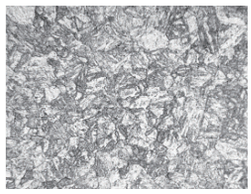
图3　淬火组织（500×）

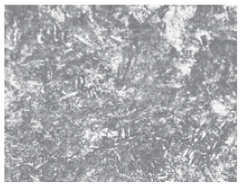
图4　调质组织（500×）

表3 试样外凸表面离子渗氮试验结果

试验方案	渗氮层深度/mm	渗氮层硬度HV	渗氮层脆性级别/级	渗氮层组织级别/级	心部组织级别/级	心部硬度HB（d）/mm
1	0.45～0.55	672～752	1	4～6	2	3.5
2	0.33～0.37	702～788	1	2	2	3.5
3	0.37～0.43	735～827	1	3	2	3.5
4	0.37～0.4	770～788	1	1	2	3.5
5	0.60	670～730	1	4	2	3.5

表4 试样凹形槽表面离子渗氮试验结果

试验方案	渗氮层深度/mm	渗氮层硬度HV	渗氮层脆性级别/级	渗氮层组织级别/级	心部组织级别/级	心部硬度HB（d）/mm
1	0.45	672～788	1	1～2	2	3.5
2	0.28～0.32	702～788	1	2	2	3.5
3	0.22～0.33	752～869	1	1～2	2	3.5
4	0.30～0.40	735～752	1	1	2	3.5
5	0.42	650～680	1	1	2	3.5

化合物层和扩散层两部分组成，但随着渗氮工艺和待渗钢本身的结构性能的不同也可获得只含扩散层的结构[2]。试样在渗氮前基体主要由索氏体组成，并伴有少量残留奥氏体相和铁素体颗粒。试样经过610℃×60h渗氮后，渗氮组织细小，基本形貌与渗氮前相比变化不大，其组织为渗氮索氏体，渗氮组织满足HB5022要求。

（4）AN600P离子渗氮防渗涂料效果的检验 AN600P离子渗氮防渗涂料是单组分水性环保配方，不影响炉内真空度及渗氮气氛，渗氮时不打弧，适用于钢铁件在400~800℃离子渗氮时的局部防渗，可解决无法或不便采用机械屏蔽进行防渗的各类复杂型腔及大面积表面的防渗难题。该涂料为浅灰绿色胶液，使用时先搅拌均匀，涂覆于清洁、除油、干燥的试样表面，待烘干变硬后即可进炉渗氮。渗氮冷却后，涂层自然粉化，可用抹布擦去。防渗面呈银灰色，有金属光泽。

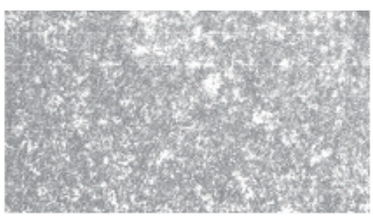

图5 610℃×60h离子渗氮层（500×）

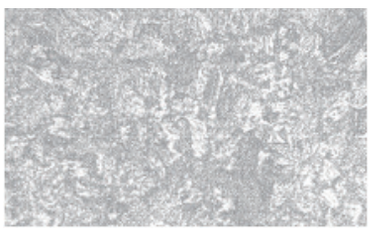

图6 610℃×60h渗氮后心部组织（500×）

涂覆面渗氮前的化学成分如表5所示，渗氮后的成分如表6所示，可见涂覆面的成分在渗氮前后基本不变。试样渗氮前，涂覆面的硬度为294~321HV；试样渗氮后，涂覆面的硬度为296~329HV；而未涂覆面的硬度为650HV以上。综上所述，可认为AN600P离子渗氮防渗涂料的防渗效果良好，不影响涂覆面的成分和性能，并且使用简便，渗氮后易于清除。

3. 结语

（1）0Cr11Ni2MoVNb渗氮前的调质处理可采用淬火：1030℃，油冷；回火：650℃，空冷，调质后的组织满足离子渗氮的要求。

（2）0Cr11Ni2MoVNb钢离子渗氮温度为580~610℃，通过调整渗氮的氨气流量、电压、电流，可获得不同深度的渗氮层，满足不同的设计需求。

参考文献：

[1]Helmut Kaufraann. Industrial applications of plasma and ion surface engineering[J]. Surf. &Coat. Tech.，1995，74-75，23-28.

[2]周孝重，陈大凯.等离子体热处理技术[M].北京：机械工业出版社，1990：73.

表5 涂覆面渗氮前的化学成分（质量分数） （%）

Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Al	Nb	Si	Mn	Fe
11.30	1.40	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.34	0.40	0.60	85.21

表6 涂覆面渗氮后的化学成分（质量分数） （%）

Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Al	Nb	Si	Mn	Fe
11.64	1.79	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	85.53

作者简介：刘建平，驻沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司军事代表室；王蔓，沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司。

MW 20170818