

# 25Cr3MoA钢的氮化及金相分析

五一厂 单永兴 胡新华

## 一、引言

含铝氮化钢的淬透性差, 淬火加热时容易产生脱碳和晶粒长大, 氮化后脆性较大。因而, 使氮化处理的使用受到了限制。近年来, 国外使

用不含铝的氮化钢来制造截面较大的复杂氮化零件获得成功。为了满足我厂试制起动机需要, 委托本溪钢厂试制与英国S106钢相近似的氮化钢, 该厂按我厂的要求研制了25Cr3MoA钢, 它的化学成分列于表1。

表1 25Cr3MoA钢的化学成分

合金元素含量, %								
C	Cr	Mo	Mn	Ni	Sn	Si	S	P
0.20~0.28	3.00~3.50	0.35~0.45	0.45~0.75	≤0.30	≤0.10	0.1~0.35	≤0.020	≤0.020

为了全面了解25Cr3MoA钢的特性, 我们通过大量试验, 找出了25Cr3MoA钢的最佳调质工艺和氮化工艺。同时, 还对25Cr3MoA钢的氮化层进行了金相观察并与目前应用最广的氮化钢38CrMoAlA进行了对比, 发现25Cr3MoA钢的氮化质量优于38CrMoAlA钢, 为扩大氮化处理的使用创造了条件。五年多来, 该钢在航空起动机的氮化零件上应用获得了成功。本文仅对25Cr3MoA钢的调质处理、氮化处理和氮化层的金相分析等方面作简单介绍。

## 二、25Cr3MoA钢的调质处理

调质处理是获得高质量氮化零件的重要环节。由于38CrMoAlA钢的淬透性较差, 淬火加热时容易产生脱碳和晶粒长大等现象。因而, 截面较大的零件很难保证调质质量, 调质后往往获得粗大索氏体(图1)。使氮化后的脆性增加。25Cr3MoA钢的淬透性较高, 淬火加热时不易产生脱碳和晶粒长大等倾向, 调质后的金相组织为均匀细小的索氏体(图2)。

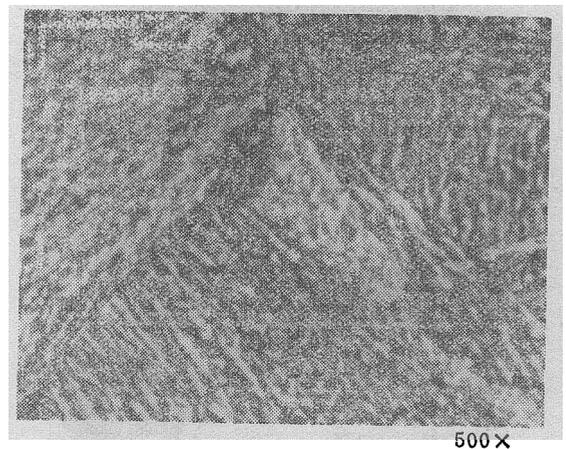


图1 38CrMoAlA钢于950°C淬火600°C回火的金相组织

25Cr3MoA钢在900°C以下加热, 由于合金元素溶解不充分, 淬火后钢的强度较低; 在1000°C以上加热, 晶粒粗大, 淬火后钢的韧性降低; 在900~950°C加热, 淬火后能获得满意的结果。

25Cr3MoA钢于900~950°C加热油淬后, 在570°C以下回火机械性能变化很小, 在610°C回火 $\sigma_{0.1}$ 有明显的下降现象(图3); 在580~

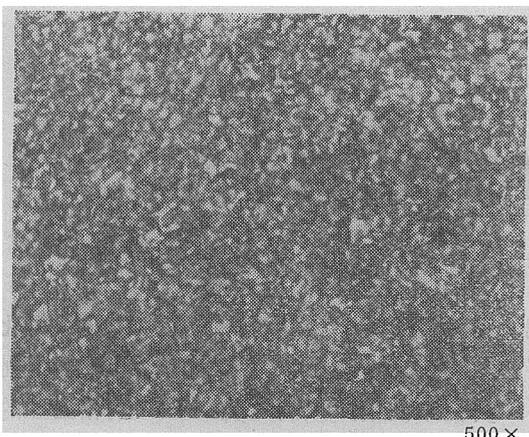


图 2 25Cr<sub>3</sub>MoA钢900°C淬火600°C回火的金相组织

600°C回火可以得到最佳的综合机械性能，见表 2。

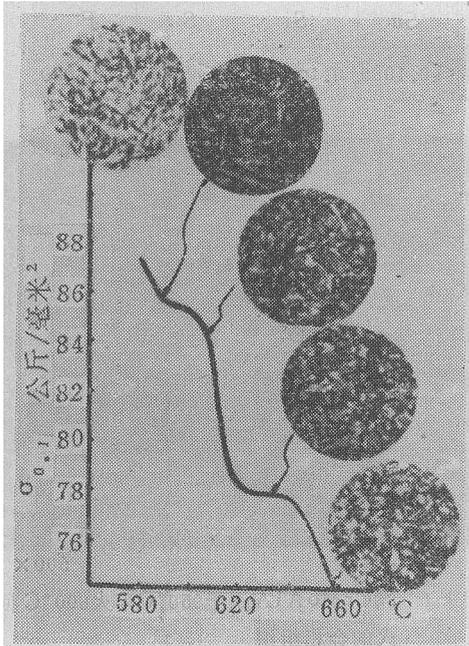


图 3 回火温度与  $\sigma_{0.1}$  的关系

表 2 不同尺寸的棒材于900°C+600°C调质后的性能

尺寸 φ 毫米	机械性能						
	$\sigma_{0.1}$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	$\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	$\delta$ %	$\psi$ %	$a_k$ 公斤·米/厘米 <sup>2</sup>	文氏冲击 公斤·米/厘米 <sup>2</sup>	HB 压痕直径毫米
20	86	104	17.4	73	26	14.5	3.45
25	83	101	18.7	75	30.5	15.8	3.48
30	85	102	17.2	73	28.9	14.6	3.45

### 三、 25Cr3MoA钢的氮化

25Cr<sub>3</sub>MoA钢具有良好的氮化性能，根据我们的生产经验，25Cr<sub>3</sub>MoA钢用液态氮化，氮分解率为20~60%，515°C氮化，氮化速度为0.005~0.006毫米/小时，氮化层硬度Hv大于850公斤/毫米<sup>2</sup>；535°C氮化，氮分解率为20~60%，氮化速度为0.006~0.007毫米/小时，氮化层硬度Hv大于800公斤/毫米<sup>2</sup>。而38CrMoAlA钢于535°C氮化，氮分解率为20~60%，氮化速度约为0.010毫米/小时，氮化层硬度Hv大于900公斤/毫米<sup>2</sup>。

在实际生产中，要求氮化层深度小于0.30毫米的零件，采用515°C、氮分解率为20~40%的氮化；要求氮化层深度大于0.30毫米的零件，则采用535°C、氮分解率为30~50%的氮化。

25Cr<sub>3</sub>MoA钢采用等温氮化变形较小，当氮化层深度为0.20~0.40毫米，直径为16毫米的实心零件，径向胀大0.02毫米。形状复杂的零件氮化后胀大量与形状有关，没有一定规律，但相同形状的38CrMoAlA钢制零件的变形小。

### 四、 25Cr3MoA钢氮化层的金相分析

对氮化层金相进行分析的目的，是为了识别氮化层的组成相和了解氮化层的组成相对氮化质量的影响，从而制订检查氮化层的金相标准。

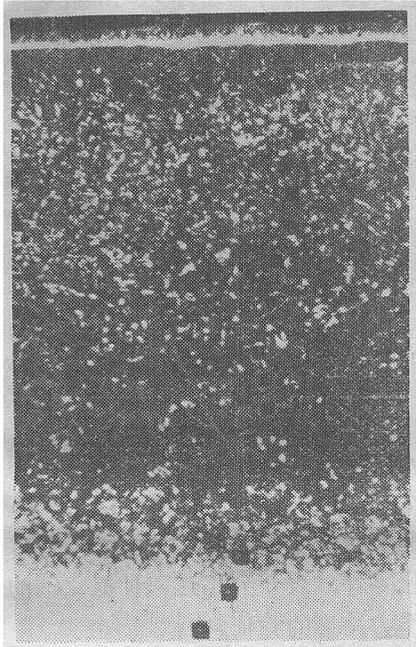
#### 1. 氮化层深度的测定

钢的氮化层深度由氮化白层和扩散层组成。25Cr<sub>3</sub>MoA钢的氮化层可用2%的硝酸酒精显现（图 4）。当氮化层深度较浅时，则用硫酸铜盐酸溶液显现或用硬度法测定。

#### 2. 氮化白层

众所周知，氮化白层是由Fe<sub>2</sub>N(ε)和Fe<sub>4</sub>N为基的固溶体组成的化合物层，它有

很好的抗腐蚀性，经硝酸酒精溶液腐蚀后呈致密的白亮层，俗称白层。白层极脆，应控制它的深度。



200×

图 4 25Cr3MoA 钢的氮化层

25Cr3MoA 钢的白层较浅，通常不超过 0.015 毫米。并由两层组成（图 4），外层为硬度较低（ $Hv500 \sim 600$  公斤/毫米<sup>2</sup>）的疏松层，里层为硬度较高（ $Hv800 \sim 900$  公斤/毫米<sup>2</sup>）的化合物层。25Cr3MoA 钢的化合物层用硫酸铜、氯化铜、氯化镁盐酸酒精溶液<sup>[1]</sup>腐蚀，未发现双相结构。而 38CrMoAlA 的白层则由  $\epsilon$  和  $\gamma'$  双相组成<sup>[2]</sup>。这是 25Cr3MoA 钢氮化层脆性较小的原因之一。

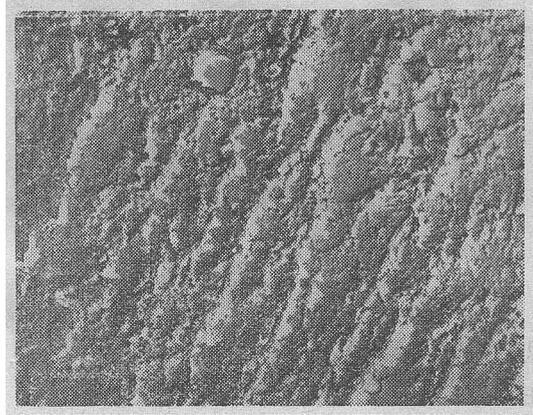
### 3. 扩散层

扩散层是氮化层的主要组成部分。在合金钢的扩散层中析出大量的、弥散分布的合金氮化物，所以也称为合金氮化物的析出层。

用电子显微镜、电子衍射等方法研究合金钢的氮化过程发现，等温氮化时，当  $\alpha$ -Fe 被氮饱和后，就形成具有  $B_1$  型结构的  $CrN$ 、 $MoN$  等氮化物相， $B_1$  型氮化物具有面心立方结构与

$\alpha$ -Fe 有共格关系，因而  $B_1$  型氮化物有很大的强化效果。氮化温度较低，形成的  $B_1$  型氮化物呈弥散度极高的薄片状；氮化温度较高，形成的  $B_1$  型氮化物呈弥散度较小的厚片状。当氮化物的片厚大于  $100 \text{ \AA}$  时，与  $\alpha$ -Fe 的共格关系破坏，强化效果急剧降低<sup>[3]</sup>。

25Cr3MoA 钢经调质处理后，在  $515 \sim 535^\circ\text{C}$  氮化，扩散层析出的  $B_1$  氮化物弥散度较高呈薄片状（图 5）。

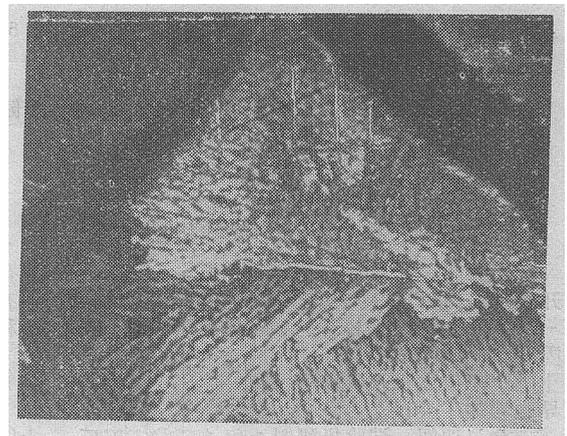


5000×

图 5 25Cr3MoA 钢扩散层中的  $B_1$  型氮化物

在合金钢的氮化层的扩散层中，通常存在与氮化层表面成平行的  $\gamma'$  相。

38CrMoAlA 钢扩散层中的  $\gamma'$  呈波纹状或网状；25Cr3MoA 钢扩散层中的  $\gamma'$  相呈短条状。扩散层中  $\gamma'$  相存在于与氮化零件表面平行的晶界上，它的形状取决于钢的调质组织。



200×

图 6 38CrMoAlA 钢氮化层中的针状氮化物相

#### 4. 氮化层缺陷

38CrMoAlA钢氮化层出现的典型氮化缺陷有针状和网状氮化物相(图6)、沿晶界的“牛尾巴状”的氮化物相(图7)、气泡等。

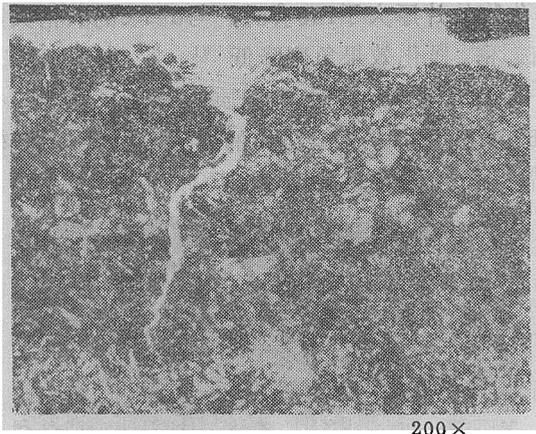


图7 38CrMoAlA钢氮化层中的“牛尾巴状”氮化物相

25Cr3MoA钢氮化时,很少出现氮化缺陷只有在氮化温度较低,氮化初期氮势较高时,在零件尖角处形成网状氮化物相(图8)。

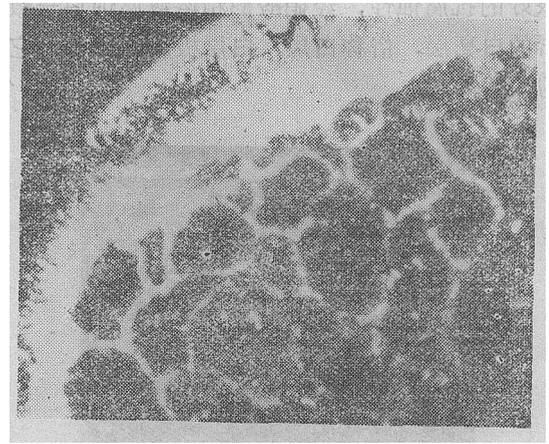


图8 25Cr3MoA钢氮化层中的氮化物网

### 五、结 论

从上面的叙述可知,25Cr3MoA钢是一种值得推广的氮化钢,它比38CrMoAlA钢更适合制造形状复杂、截面尺寸较大,要求韧性高的氮化零件。表3列出这两种氮化钢的性能对比,作为结论的验证。

表3 25Cr3MoA钢和38CrMoAlA钢的性能对比

钢 种	热处理性能		机 械 性 能*				氮 化 性 能**				
	淬透性 毫米	脱碳 过热	$\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	$\delta_s$ %	$\psi$ %	$a_k$ 公斤·米/厘米 <sup>2</sup>	氮化速度 毫米/小时	白层厚度 毫米	扩散层 组成	缺 陷	氮层硬度 $H_{V10}$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>
25Cr3MoA	$\geq 60$	不易	102~110	$\geq 15$	$\geq 70$	$\geq 25$	0.006 ~0.007	$\leq 0.015$	弥散的合 金氮化物 加条状 $\gamma$	不易 形成	$\geq 800$
38CrMoAlA	$\approx 30$	容易	$\geq 100$	$\geq 15$	$\geq 50$	29	0.01左右	$\leq 0.020$	弥散合金 氮化物加 波纹状 $\gamma$	较易 形成	$\geq 850$

\* 经900°C淬火+600°C回火处理。

\*\* 535°C氨分解率20~60%氮化。

#### 参 考 资 料

[1] 碳钢的氮化及软氮化合物形态形成机理, 泮健生等, 上海交大技术资料, 1979. 4.

[2] 氮化白层, 章子元, 金属热处理, 11期, 1979\*

[3] 钢的氮化, 郭铮匀译, 国防工业出版社, 1979, 10.

#### 梁式电磁振动疲劳试验机鉴定会

三机部科技局于1981年10月19~22日在沪主持召开“梁式电磁振动疲劳试验机鉴定会”。参加会议的有一机部、三机部、六机部、空军、中国科学院、上海市科委、上海市航宇协会等部门的有关厂、所、院、校共计三十七个单位六十八名代表。上海市航空工业办公室的领导也参加了会议。

会议期间, 试验机研制小组(三〇三五厂、一七〇厂、三三一厂、四一〇厂、四二〇厂、六二一所)向全体代表介绍了研制工作的全部情况及考机报告。代表们

根据鉴定大纲在现场审查了样机。

代表们共同认为: 该试验机刚性良好, 结构合理, 激振能力大, 振幅稳定精度高, 电气系统具有特色, 现役及研制机种各型叶片均能进行振动疲劳试验, 与国内同类产品比较, 达到先进水平。

会议认为, 在当前我国航空工业进入更新、研制、预研一代的新形势下, 梁式电磁振动疲劳试验机对于推广应用新材料、新工艺、延长发动机使用寿命、提高发动机叶片质量以及进行叶片故障分析等方面, 都将起到重要的作用。

(张学铎)