

了三种钢不同处理后的显微硬度,在四种不同处理工艺下,三种钢材都是离子注氮试样具有最高的硬度,且注 N^+ 层都未观察到变脆的现象。

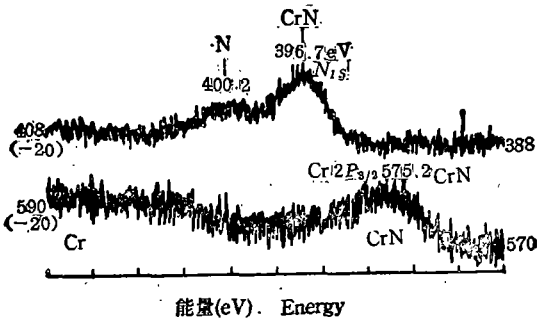


图6 9Cr18注 N^+ 试样注入层XPS分析结果(高分辨谱)
Fig. 6 The XPS analysis results of N^+ implantation layer of 9Cr18 steel (high resolution spectra)

3. 注入层成分、组织及结构

对不同 N^+ 注入剂量的9Cr18钢试样,用AES分析法测定了注入层中各元素的分布(图4),注入层中不同深度处的Auger电子能谱及氮的高分辨谱(图5)表明, N 、 Cr 、 C 的峰位与标准元素谱相比均有位移,而氮的KLL峰明显地分裂成两个峰,其峰形与9Cr-18氮化试样完全相同。说明这些元素主要都以化合态存在于注入区。此外,用XPS分析在9Cr18钢注 N^+ 层发现了CrN(图6)。

X射线衍射分析结果,在9Cr18和Cr12-MoV注 N^+ 试样中除能清楚观测到马氏体、

(Fe,Cr) $_7$ C $_3$ 以及残余奥氏体以外,还出现含 N 相CrN和 ϵ -Fe $_2$ - $_3$ (C,N)的谱线,不过它们的谱线不够完整,这是由于注 N^+ 层太薄(一般在 $1\mu m$ 以下),含 N 相的量相对较少引起的,衍射仪的精度也使我们难以得到更细致的结果。用透射电镜观察了注 N^+ 9Cr18的组织,发现在马氏体基底上有大量位错网络存在,选区电子衍射得到模糊的多晶环,说明注入层的某些区域晶粒被碎化,甚至有非晶化的趋势。

对于近物所离子注入小组的大力协作,兰州化学物理所电子能谱组的AES、XPS分析,兰州大学电镜室高金城、陈尚文、李柏年的TEM观察,晏国洪的X衍射分析以及宋宝智的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] C. M. Preece *et al.*, Ion implantation metallurgy, TMS-AIME, New York, 1980.
- [2] H. T. Li *et al.*, Nucl. Instr. Meth., 182/183 (1981), 915.
- [3] G. Dearnaley *et al.*, Thin Solid Films, 54 (1978), 215.
- [4] 王天民等,核技术,(1986),8:39.

离子注入对软金属材料摩擦特性的影响

胡正琼 王贻华

(北京航空学院)

本工作将银试件作 N 离子注入。对铝青铜或锡青铜则先真空蒸镀B、Ag、In或Sb膜后作 N^+ 反冲注入。试件在低负载、低转速、干摩擦或高负载、高转速、油润滑条件下作摩擦试验。试验表明大部分注入试件表面的摩擦系数有明显下降。本文对离子注入降低摩擦系数的机理也进行了初步讨论。

关键词: 摩擦特性 软金属 离子注入

离子注入可以改变金属材料表面的摩擦性能。对于不同的金属材料,采用不同种类的离子或相同离子在不同注入参数的实验条件下进行注入,对材料表面摩擦特性会有不同的影响。在机械工业中,应用离子注入降低摩擦副接触面的摩擦系数,提高材料的耐磨性,减少零件的损耗,延长机器的使用寿命,缩短整机停机的维修时间,具有较大的经济意义。本试验采用多种离子注入方法并在不同条件下,研究了某些航空用软金属材料摩擦特性的变化。

一、试验方法

1. 试件制备

采用银、铝青铜和锡青铜三种软金属材料,制成圆盘状($\phi 40 \times 5\text{mm}$)及圆环状($\phi 68 \times 6\text{mm}$)两种试件,表面光洁度为 $\nabla 10$,不平行度 $\leq 0.005\text{mm}$ 。为节省银材料,采用在铜基上电镀 $15\mu\text{m}$ 左右的纯银层作为银的试件。

2. 离子注入方法及条件

银采用直接注入,注入条件为 150keV 、 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 。铝青铜采用蒸镀 20nm In膜后 N_2^+ 反冲注入或蒸镀 20nm Sn膜后 N_2^+ 反冲注入法,注入条件为 80keV 、 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 。锡青铜采用蒸镀 50nm Ag膜后 N_2^+ 反冲注入,注入条件为 140keV 、 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$;蒸镀 40nm Ag膜后($\text{N}^+ + \text{N}_2^+$)反冲注入或蒸镀 $40\text{nm}(\text{B} + \text{B}_2\text{O}_3)$ 膜后($\text{N}^+ + \text{N}_2^+$)反冲注入,注入条件为 50keV 、 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 。镀膜条件为真空度 4mPa ,加热电流 16A ,工作电压 48V 。

3. 摩擦试验的设备和方法

(1) 低负载低转速干摩擦试验 采用带压力传感器测量系统的针盘式摩擦磨损试验机,在低负载低转速干摩擦条件下,对注入与非注入的圆盘试件进行对比摩擦试验。磨针尺寸为 $\phi 2 \times 28\text{mm}$,材料为GCr6,针端为球面状。针盘间的摩擦力 F 由压力传感器的输出计算,试件表面的滑动摩擦系数 $\mu_k = F/G$, G 为圆盘试件承受的法向负载。

(2) 高负载高转速油润滑摩擦试验 采用MG-200型高速高温摩擦磨损试验机,模拟某实际机械部件主要摩擦副的接触形式及主要工作参数,在高负载高转速油润滑条件下,对注入与非注入的圆环试件进行对比摩擦试验。对磨的配偶件为铬钼钢环,摩擦件材料为锡青铜,摩擦副名义接触面积 10.60cm^2 ,线速度 8.64m/s ,润滑油流量 200ml/min 。润滑剂为YH-10*红油,通过液压系统循环流动。测量启动力矩 M_s 及稳定力矩 M_k ,然后按 $\mu_{s,k} = M_{s,k}/Gr$ 分别计算静摩擦系数 μ_s 和滑动摩擦系数 μ_k 。式中, G 为圆环试件承受的法向负载; r 为圆环内外半径的平均值($3 \times 10^{-2}\text{m}$)。

二、试验结果

表1 针盘式摩擦磨损试验机干摩擦试验结果

Table 1 Experiment results of dry friction with pin-on-disc wear tester

材料 Material	表面状态 Surface state	负载(N) Load	$V^*(\text{m/s})$	μ_k	负载(N) Load	$V^*(\text{m/s})$	μ_k	负载(N) Load	$V^*(\text{m/s})$	μ_k
银 Ag	未注入 Unimplanted N_2^+ 注入 N_2^+ implanted	0.8	0.27	0.46 0.27	2.8	0.08	0.69 0.17	5.4	0.23	0.26 0.14
锡青铜 Sn-bronze	未注入 Unimplanted (Ag+ N_2^+)反冲注入 Ag recoil implanted by N_2^+	0.8	0.21	0.22 0.44	5.5	0.21	0.24 0.26			
铝青铜 Al-bronze	未注入 Unimplanted (In+ N_2^+)反冲注入 In recoil implanted by N_2^+ (Sn+ N_2^+)反冲注入 Sn recoil implanted by N_2^+	2.6	0.40	0.46 0.34 0.29	* 滑动速度 * Sliding speed					

不同试件在不同试验条件下得出的摩擦系数列于表1和表2。由表1可见,除了经(Ag + N₂⁺)反冲注入的锡青铜试件,在低负载低转速干摩擦试验条件下,其滑动摩擦系数明显增大外,其余注入试件的滑动摩擦系数都有明显减小。由表2可见,经Ag + (N⁺ + N₂⁺)反冲注入及经(B + B₂O₃) + (N⁺ + N₂⁺)反冲注入的锡青铜试件,在高负载高转速油润滑摩擦试验条件下,其启动力矩和稳定力矩及相应的静摩擦系数和滑动摩擦系数都减小。并且,在一定试验条件下,这两种注入试件的滑动摩擦系数随润滑油流量的减少而减小。

表2 MG-200摩擦磨损试验机油润滑试验结果

Table 2 Experiment results of oil lubrication with MG-200 wear tester

表面状态 Surface state	负载(N) Load	PV (Nm/ s·cm ²)	M _s (Nm)	M _b (Nm)	μ _s	μ _b	负载(N) Load	PV (Nm/ s·cm ²)	M _s (Nm)	M _b (Nm)	μ _s	μ _b
未注入 Unimplanted	1040	848	1.490	0.637	0.0478	0.0204	1471	1200	2.744	0.637	0.0622	0.0144
Ag + (N ⁺ + N ₂ ⁺)反冲注入			1.401	0.588	0.0449	0.0189			1.568	0.392	0.0355	0.0089
Ag recoil implanted by (N ⁺ + N ₂ ⁺)	981	800	1.725	0.343	0.0586	0.0117						
				0.196*		0.0067*						
未注入 Unimplanted	1040	848	1.490	0.637	0.0478	0.0204	1471	1200	2.744	0.637	0.0622	0.0144
(B + B ₂ O ₃) + (N ⁺ + N ₂ ⁺) 反冲注入			1.245	0.519	0.0399	0.0166			4.018	0.372	0.0911	0.0084
(B + B ₂ O ₃) recoil im- planted by (N ⁺ + N ₂ ⁺)	981	800	1.563	0.274	0.0533	0.0093						
				0.147*		0.0050*						

* 润滑油流量: 22ml/min. *Flow rate of lubrication-oil: 22 ml/min.

三、机理分析

离子注入改变软金属材料摩擦系数的机理初步分析如下:

1. 面接触摩擦副中的软金属配偶件,因其质软,在高速、高温、高载荷的工况条件下易于产生粘附摩擦和变形摩擦,严重影响零部件的使用寿命。采用离子注入的方法,可引起材料表层组织与亚组织的微观变化,从而导致材料表面性能的变化,例如提高表面硬度^[1],改变摩擦系数。根据摩擦的表面能量理论^[2]也能得到解释。

2. 在油润滑试验中,锡青铜试件经(B + B₂O₃) + (N⁺ + N₂⁺)反冲注入后,具有较好的减磨效果,其机理可从金属的晶体结构出发进行分析。H. 裘勃列尔等人研究指出:面心立方与面心立方金属对摩时,摩擦系数最大;体心立方与密堆六方金属对摩时,摩擦系数最小^[3]。锡青铜试件,锡的含量占9—11%,这种材料的退火组织通常都是单相的α固溶体,具有面心立方晶格,锡青铜的β和δ相固溶体也都具有立方晶体结构。铬钼钢配偶件,其主要成分也都属立方晶体结构。因此若锡青铜与铬钼钢直接对摩,摩擦系数较大。锡青铜试件经(B + B₂O₃) + (N⁺ + N₂⁺)反冲注入后,经俄歇电子能谱分析证明在表层形成氮化硼(BN),氮化硼为六方晶体结构,它与具有立方结构的金属对摩时,就可得到很小的摩擦系数。在这种情况下,氮化硼有效地降低了摩擦力,起了固体自润滑的作用。

3. 锡青铜试件蒸镀(B + B₂O₃)混合膜后,在载能氮离子轰击下,可使B₂O₃断键,氧原子可能与其它元素形成氧化物,增强了试件表面的氧化膜。氧化膜具有降低摩擦系数和减少磨损的效应。厚度为几nm的氧化膜能减少摩擦力和基体材料的变形,再厚的氧化膜能封锁位错,

使摩擦系统处于危害最小的氧化磨损状态。

4. 锡青铜试件经 $\text{Ag} + \text{N}_2^+$ 反冲注入后, 在干摩擦条件下摩擦系数增大, 这和 G. Dearm-aley 等人在钢试件上注入 Ag^+ 后得出摩擦系数增大的结果相似^[4]。

贵阳液压附件厂提供了试件, 该厂工艺所尹克里副所长和程皆为工程师指导并参与了润滑摩擦试验; 我院郭可谦教授、沈心敏副教授对本文提出了宝贵意见, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 王貽华和胡正琼, 北京航空学院学报, (1986), 3:121.
- [2] 戴雄杰主编, 摩擦学基础, 上海科学技术出版社, 1984年, 第44页.
- [3] [苏]И. М. 柳巴夫斯基和Л. С. 巴拉特尼克著, 摩擦的金属物理, 机械工业出版社, 1984年, 第124页.
- [4] J. L. Duggan et al. ed., 4th conf. on the scientific and industrial application of small accelerators, Denton 1976, New York, 1976, p.20.

离子束混合提高耐热钢抗高温氧化性能研究

柳襄怀 郑志宏 江炳尧 邹世昌

(中国科学院上海冶金研究所)

耐热钢4Cr9Si2试样上溅射沉积60nm左右的 Si_3N_4 或Si薄层, 然后用120keV的 N_2^+ 或 Ar^+ 束轰击。氧化动力学曲线测量及扫描电镜观察表明, 离子束混合使耐热钢的抗高温氧化性能有明显的提高。离子束混合同时也延长了汽车车灯玻璃耐热钢成型模具的使用寿命。并用TEM, AES, XPS及Monte-Carlo模拟法进行了分析。

关键词: 离子束混合 耐热钢 抗氧化

在诸如电真空、塑料和橡胶制品工业中, 在飞机涡轮喷气发动机、石油化工的乙烯裂化炉、发电用的燃气轮机、高温气冷反应堆和原子能炼铁及难熔合金使用中, 热氧化是个严重问题^[1]。氧化和热腐蚀基本上是与表面有关的现象。离子束技术为表面改性提供了新的途径。不少作者对多种金属的离子注入改善抗氧化性能作了研究^[2-5], 发现硅注入到纯铁中对抗高温氧化性能有明显的影响^[6]。离子束混合, 由于级联碰撞、反冲注入及离子轰击时的界面原子混合, 使涂层与衬底间的粘着力增加, 可使金属的抗氧化性能进一步得到提高。本文报道用离子束混合改善表面沉积有 Si_3N_4 或Si薄膜的耐热钢抗高温氧化性能的研究结果。

一、实 验

耐热钢4Cr9Si2试样经抛光、去油、清洗以后, 用磁控溅射法在整个表面沉积氮化硅薄膜, 离子背散射测得厚度为64.5—70nm。椭圆偏振仪测得折射率为1.9—2.0, 这是比较接近 Si_3N_4 的化学组分比的材料。样品正反两面均以120keV, $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 的 N_2^+ 或 Ar^+ 束进行轰击。然后, 在900°C空气条件下氧化21小时。用热天平测量原始钢样和经过离子束混合的钢样的氧化动力学曲线。

同样的钢样, 抛光和清洁处理后, 在整个表面上用反应离子束刻蚀装置沉积60nm左右的Si薄层。用120keV、 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 的 N_2^+ 束对正反两面进行轰击。然后与原始钢样一起分别在700°C的干氧和湿氧中氧化53h, 用扫描电镜观察长时间高温氧化后的表面形貌。

用透射电镜、俄歇能谱和光电子能谱观察和分析离子束混合和氧化后的微观结构、元素

Abstracts in English

Application of ion beam and texture to biomedical materials

Zhang Xiaozhong

(Tsinghua University)

Wear resistance of Ti-6Al-4V, an alloy to make artificial joints, may be improved by N^+ ion implantation. Titanium hip joints and femoral heads (either hollow or Bateman type) were implanted, and replacements with them have been conducted ever since 1985. Applications of biomedical materials textured by ion beam bombardment were presented.

Keywords: ion implantation texture biomaterials titanium alloy
artificial joints

A study on wear resistance of steel samples implanted with N^+ ions or nitrided

Wang Tianmin Li Bingqing Wang Baoyi

(Lanzhou University)

Wu Meizhen Xiao Zongli

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

Steel samples of 9Cr18, GCr15 and Cr12MoV were subjected to different treatments, i.e. ion implantation, gas and ion nitridation, and quenching. Lower load wear tests of the specimens were performed. The wear resistance of N^+ implanted samples were found to be the best. Results showed that the more the elements forming nitrides the more significant improvement of wear resistance. AES, XPS, TEM and X-ray diffraction examinations were performed to study comprehensively the structures and compositions of the samples.

Keywords: N^+ implantation nitridation steel wear structure

The influence of ion implantation on friction properties of soft metal materials

Hu Zhengqiong Wang Yihua

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Silver samples and bronze samples coated with boron, silver, indium or tin films by means of vacuum deposition were bombarded with nitrogen ions. Wear test of the samples were conducted under different conditions, either lower spin rate with lower loads and dry friction or high spin rate with heavy loads and oil lubrication. Results showed that the coefficients of friction became much smaller for most of the ion-implanted samples. Discussions about the mechanism of the friction reduction effect were presented.

Keywords: friction properties soft metal material ion implantation

On the improvement of oxidation resistance of steel samples by ion beam mixing

Liu Xianghuai Zheng Zhihong Jiang Binyao Zou Shichang

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Specimens of heat resistant steel, 4Cr9Si₂, were deposited with 60nm Si₃N₄ or Si films and implanted with $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ of 120 keV N⁺ or Ar⁺ ions. Oxidation kinetics and SEM studies showed that oxidation resistance of the steel samples were significantly improved after ion beam mixing. It was found that lifetime of the dies made of the steel and used for making glass covers of bus' lamps were lengthened by ion beam mixing. TEM, AES and XPS examinations and Monte Carlo simulations were performed to study the effects.

Keywords: ion beam mixing heat-resistant steel oxidation resistance

Corrosion mechanism of N⁺ implanted iron specimens

Ye Weiyi Lu Guangyuan Li Yi Wang Wenjing

(Tianjin Normal University)

The effect of N⁺ ion implantation on aqueous corrosion of pure iron was studied. X-ray diffraction and Auger spectra were examined. Results showed that the Fe-N compounds formed by ion implantation improved the metal's corrosion behaviour. Discussions on binding energies of the Fe-N compounds were given to understand the mechanism of the effect.

Keywords: corrosion nitride passivation ion implantation

The effects of implantation with N,B,Cr and Mo ions on corrosion behaviour and microhardness of pure iron samples

Lu Haolin Su Huiqin Yang Qifa Xiang Deguang Xu Qiu

(Institute of Atomic Energy of China)

Studies of anodic polarization in 0.5mol/l H₂SO₄ were made to examine the corrosion behaviour and microhardness of surface alloys formed by implanting N,B,Cr and