

# 高硬度纳米氮化铬钢领

张一鸣,张天羿,曹根阳,陈志军

(武汉纺织大学,武汉 430000)

**摘要:**为了提升钢领质量,延长使用寿命,在分析普通镀铬钢领技术、发展和使用性能的基础上,采用固体铬金属原料,开发出高硬度纳米氮化铬钢领;详细阐明高硬度纳米氮化铬钢领的优良性能和表面形貌,即高硬度、低表面粗糙度、高附着力,表面光亮且具“网状裂纹”形貌、产量高、费用低、环保。指出:纳米氮化铬钢领制造时无污染,产量高,成本低廉,但真空纳米气相沉积炉设备费用较高;该钢领能抗氧化磨损、粘着磨损以及疲劳磨损,使镀铬钢领使用周期由9个月延长到3 a,可替代电解镀铬钢领。

**关键词:**纳米氮化铬钢领;镀铬钢领;硬度;摩擦因数;附着力;晶核;使用寿命

**中图分类号:**TS103.81<sup>+</sup>3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-9634(2018)02-0006-04

## NM Nitride-chromium Ring with High Solidity

ZHANG Yiming, ZHANG Tianyi, CAO Genyang, CHEN Zhijun

(Wuhan Textile University, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** To improve the quality of the quality, and prolong the service life of the ring, based on the analysis of ordinary chrome plating technology regarding the development and ring performance, using solid chromium materials, a NM nitride-chromium ring is introduced, clarifying its excellent performance and surface topography in detail, which is of high hardness, small surface roughness, high adhesion, bright surface with “resillage” morphology, high yield, low cost and environment friendly. It is pointed out that the NM nitride-chromium ring with high solidity is of no pollution, high yield, low cost in manufacturing, yet the nano vacuum vapor deposition furnace is high in cost. The ring is resistant to oxidation wear, adhesion wear and fatigue wear. The service life of the NM nitride-chromium ring with high solidity extends from 9 months to 3 years, thus a good replacement of electrolytic chrome ring.

**Key Words:** NM Nitride-chromium Ring; chrome plated ring; solidity; friction coefficient; adhesion; nucleation; service life

## 0 引言

我国是纺织生产大国,拥有环锭纺锭数约1.3亿,世界第一。环锭纺纱机中,钢丝圈在钢领上约以15 kr/min的速度运行,一年360 d、24 h连续不停地

干摩擦运转,对高速纺纱生产和产品质量影响很大。

国内制造钢领大都采用20钢板冲轧而成,浅表层C-N共渗,表面硬度约为800 HV,由于制造精度不高,平行度和圆整度差,若采用轧光工艺,经C-N共渗热处理后钢领变形就更大,一般使用3个月须拆下回磨修理,使用8~12个月必须更新。因此,此类钢领售价低,寿命最短,纺纱质量也较差。

我国使用较多的国外钢领为瑞士布雷克(Bräcker)钢领,它采用100Cr6轴承钢,表面有纳米级铬合金镀层,抗热性能佳、抗氧化性能好,锭速由15 kr/min提升到25 kr/min,可连续使用3 a~5 a,

**收稿日期:**2017-07-21

**作者简介:**张一鸣(1939—),男,湖北武汉人,高级工程师,主要从事纺织工艺及纺织器材应用方面的研究与教学。

**网络出版时间:**2017-08-31 18:04

**http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1131.TS.**

20170831.1804.026.html

不必回磨修理;又由于易得到纳米级的晶粒,具有较小的表面粗糙度值,使摩擦因数减小,能获得良好的稳定纺纱气圈形态,纺出优质纱,深受国内纺纱企业的欢迎,但价格为国内钢领的 20 倍。

电解镀铬钢领在我国应用的历史已有 30 多年,最早全面应用镀铬钢领的是上海嘉丰棉纺织厂。1977 年在江阴召开全国性的钢领镀铬会议<sup>[1]</sup>,使这一新生事物得到肯定,引起全国纺织科研人员积极展开研究,在镀液、配方、工艺等方面进行优化和改进,使镀铬技术进一步提高,在全国推广。近年来在常州与无锡三角区的镀铬工业园中,采用快速镀铬工艺,研究出的催化剂使铬晶粒更细小,使镀铬钢领走熟期短,内跑道镀铬均匀,纺纱质量提高,使用周期达 3 a 之久,受到纺纱厂欢迎。东华大学孔永华教授在其文章中指出<sup>[2]</sup>,瑞士布雷克钢领表面处理是镀铬,这更坚定了我国镀铬钢领发展的方向,与瑞士布雷克钢领存在较大差距。

## 1 气相沉积纳米薄膜技术在钢领上镀氮化铬

气相沉积纳米薄膜技术在钢领上镀氮化铬(以下简称“真空纳米镀铬”)。2006 年前后中俄科技年,武汉部分高校受邀交流俄罗斯舰船镀铬防锈工艺新技术。回国后,结合多年理论和实践经验,武汉纺织大学于 2016 年下半年开发出新的纳米薄膜气相沉积设备,用于钢领镀氮化铬。真空纳米薄膜镀氮化铬的工作原理:采用磁控溅射及多弧离子镀技术时,抽真空至  $6 \times 10^{-3}$  Pa,加温,开启电压 600 V~800 V 时,使氩(Ar)、氮气( $N_2$ )电离,真空炉内产生辉光,开启计算机控制电器柜,整个操作按设定的工艺曲线进行,如进一步金属表面清洁,金属表面活化,金属表面微处理;自动调节电流、电压、气压以及氮气量等工艺参数,在真空炉中 Ar、 $N_2$  离子以高能量轰击铬靶的局部区域,被激烈加热,铬被气化成纳米铬离子并与氮离子化合生成  $CrN$  离子,并按磁场中的磁力线向外飞散,这些被轰击出来的  $CrN$  离子,便会沉积在旋转工夹架的钢领上。

## 2 真空纳米镀铬钢领的特性

真空纳米镀铬钢领防锈、耐腐蚀、耐高温,在约 500 °C 时硬度、表面粗糙度都不变,同时具有以下优良性能。

### 2.1 硬度较高

要提高金属零部件上的表面硬度及耐磨性,完全靠镀铬,包括电镀硬铬也是难以提高的,试验证

明<sup>[3-7]</sup>,氮气和铬相结合的  $CrN$  可以提高金属零部件的硬度及耐磨性能,因此我们在物理气相沉积设备中,采用磁控铬靶及多弧离子镀铬靶,在真空炉内通入氮气、氩气使其生成氮化铬晶薄膜层,以提高镀铬硬度。图 1 为氮气压强对  $CrN$  薄膜硬度的影响。

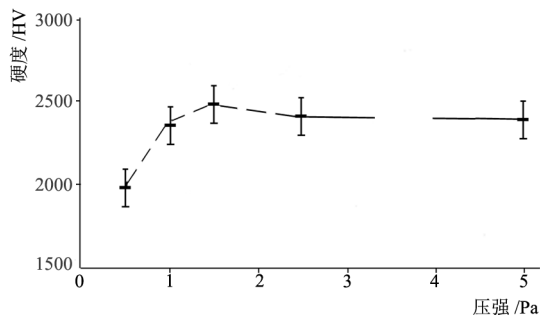


图 1 氮气压强对  $CrN$  涂层硬度的影响

从图 1 可以看出, $N_2$  含量的增加,有利于膜层硬度增大;但  $N_2$  含量增加到一定时,再提高会引起膜层成分和结构的变化,如图 2 和图 3 所示。

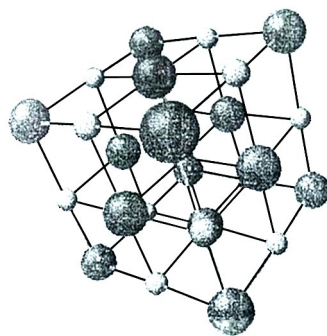


图 2 面心立方结构的  $CrN$

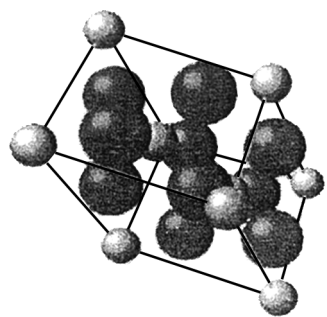


图 3 六角密堆结构的  $Cr_2N$

当  $N_2$  含量为 33.3% 时,试样保有一个相:面心立方结构的  $CrN$ ,硬度较高;当  $N_2$  含量大于 40%,试样出现六角密堆结构的  $Cr_2N$ ,说明  $N_2$  含量的改变引起了相的改变,从而引起硬度下降。可见  $N_2$  压强对  $CrN$  硬度有很大的影响。

据报道称, $CrN$  的显微维氏硬度可达 2740 HV,而实验时试样中测出的  $CrN$  的显微维氏硬度为 1900 HV~2200 HV,基本是基体硬度的 4~8

倍,是 Cr 硬度的 2~3 倍。

在满足纺优质纱工艺的前提下,应尽量提高硬度以达到延长钢领使用寿命的目的。我们将普通镀铬钢领、快速镀铬钢领及真空纳米镀铬钢领用 HX-1000 型显微硬度计检测,硬度对比结果见表 1。

表 1 3 种不同镀铬钢领的表面硬度对比

钢领类别	表面硬度/HV
普通镀铬	831.0
快速镀铬	928.0
真空纳米镀铬	959.2

从表 1 可以看出,真空纳米镀铬钢领有较高的硬度,实践检验其使用寿命达 3 a,甚至更长。

## 2.2 表面粗糙度小

根据许多文献的报道<sup>[2]</sup>,瑞士布雷克钢领与国产轴承钢领表面都有镀铬层,这是由于镀铬层的摩擦因数小;特别是干摩擦因数,在所有金属中是最低的,因此,镀铬钢领具有较小的摩擦因数。

电解电镀钢领由于工艺生产中的“边角效应”导致很高的摩擦因数,故棉纺厂将电解电镀钢领用行星齿轮抛光机抛光 1 h~2 h 后再使用,在使用初期,仍需开慢车约 3 d,再恢复高速运转,但纺纱断头仍然较多,值车工劳动强度加大。然而采用真空纳米镀铬钢领,只需金相砂布擦拭跑道部分,即可上车使用,开车初断头略有增加,运行 1 h~2 h 后即可正常生产。

我们在摩擦磨损试验机上测出如图 4 所示的含氮量为 35% 的 CrN 薄膜的摩擦因数曲线图。

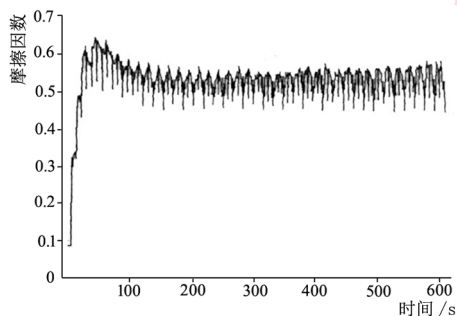


图 4 N<sub>2</sub> 含量为 35% 的 CrN 薄膜摩擦曲线

从图 4 可以看出,开始出现摩擦因数  $\mu$  为 0.65 的一个高峰,经过约 50 s,摩擦因数  $\mu$  值下降,这明显是一个初期磨合阶段,经过 100 s 以后,摩擦因数  $\mu$  稳定在约 0.5,出现一个稳态磨损阶段,这一曲线说明铬层硬度起主要的作用。该摩擦因数曲线较小且平稳,能满足纺纱工艺。

## 2.3 附着力高

镀铬层与钢领表面基体结合力称“附着力”,是

镀铬工艺的重要指标,我们用 WS200 型附着力划痕试验仪测试膜基结合力,结果见表 2。

表 2 两种工艺镀铬层附着力测试对比 单位:N

钢领类别	测试次数				平均
	1	2	3	4	
镀铬	70	79	87	74	76(77.5)
电解镀铬	48	50	64	55(550)	52(54.2)

电解镀铬层的工艺<sup>[4]</sup>晶核的形成主要依靠铬晶吸附原子,铬晶与钢领基体附着力不强,加之电解过程中,放出氢气等气体,很容易附在被镀基体上,使基体与镀铬层隔开,有时会形成气泡产生起皮、起泡甚至脱膜,严重影响镀铬质量。

真空纳米镀铬钢领是由纳米级铬原子与钢领表面基体原子,共同组成的无缝过渡层,铬靶不断提供纳米铬原子而逐渐生长成岛状晶体,具有“网状裂纹”结构的表面形态镀铬层,从表 2 可见真空纳米镀铬层具有牢固的附着力,不会起皮和脱膜。

## 2.4 表面形貌独特

### 2.4.1 表面光亮

电解镀铬的表面镀铬层(包括硬镀铬层和装饰镀铬层)是略带蓝色调的银白色光亮层。而真空纳米镀铬表面也光亮,不过略偏带银白色。

### 2.4.2 表面有更多细“网络裂纹”

从显微镜下,可看到电解镀铬表面有许多“网络裂纹”特征,如图 5 和图 6 所示;而真空纳米镀铬有比电解镀铬更细的裂纹,如图 7 所示。这说明两者



图 5 真空纳米镀铬细小裂纹的表面形貌



图 6 快速电解镀铬钢领微晶表面形貌



具有相同的镀铬层,也说明后者较电解镀铬有更小的纳米晶粒,具有较低的摩擦因数。从图8也可看

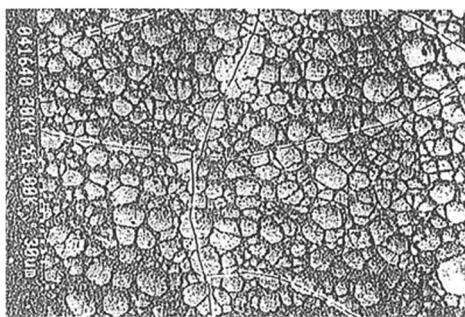


图 7 普通电解镀铬钢领粗晶表面形貌

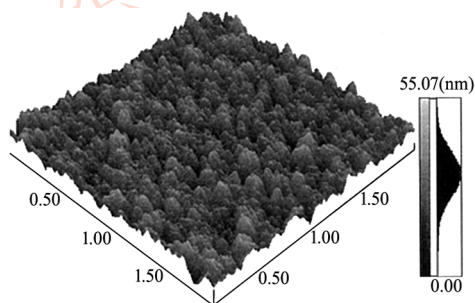


图 8 真空纳米镀铬钢领原子力显微照片表面形貌

出在钢领上经非平衡溅射或多弧离子镀气相沉积的沉积铬层,是由许多微晶和纳米晶所构成。因此,我们可以说真空纳米镀铬钢领是属于纳米级的铬晶结构的纳米镀铬钢领。

### 2.5 产量高费用低且环保

我们知道电解镀铬是采用电解镀铬液的工艺<sup>[8]</sup>,镀铬液可分为六价镀铬液和三价镀铬液两大类。六价镀铬液由铬酐( $\text{CrO}_3$ )和少量催化剂硫酸组成。

由于电镀过程中使用了大量强酸,其中铬酐是有毒有害化学品,电解时其阴、阳极大量析出氢气以及大量铬酸浓雾逸出而带出铬酸溶液,排放出大量危害环境和人类健康的废水、废气、废渣,已属于限制生产行业。

真空纳米镀铬是在真空室内,氩气保护下进行。开启弧光蒸发源电流,在纯金属铬块的表面出现明亮的弧斑,从而使纯金属铬蒸发气化成等离子体,按磁场中的磁力线向外扩散,在炉中与氩气、氮气离子合成为  $\text{CrN}$  离子,而这些被轰出来的氮化铬离子沉积在工件表面上,随着时间延长形成镀铬层。整个加工工艺是在密闭的真空室,在氩气的保护下进行,

无有害化学品和废液、废气、废渣产生,不会对环境对人体产生危害,是非常环保的高新技术。

真空纳米镀铬工艺,每次可加工 500 只~1000 只钢领,时间为 2.5 h,而电镀镀铬每次加工 72 只,时间为 2 h,因而真空纳米镀铬较电镀镀铬产量高。

真空纳米镀铬与电解镀铬加工费用持平或略低,但真空气相沉积镀铬炉的设备费用较高。

## 3 结语

3.1 镀铬钢领经过 30 a 的发展,由粗品到细品,再到纳米级铬晶,现占领 50% 的市场份额,但由于电解镀铬属于限制行业,阻碍了镀铬钢领的发展;我们开发的 300 只多弧离子镀镀铬钢领设备及工艺是对人体健康和环境无污染的高新技术,武汉纺织大学将义不容辞地努力做好示范普及推广工作。

3.2 真空纳米镀铬钢领采用固体铬金属原料、无有毒化学药品生产工艺,属于对人体健康和周围环境不产生污染的新工艺技术。生产产量高,成本低廉,但真空纳米气相沉积炉设备费用高。

3.3 由于真空纳米镀铬钢领具有硬度高、摩擦因数小、附着力较高、不起皮、不脱膜、耐高温以及防锈防腐等性能,因而能抗氧化磨损、抗粘着磨损以及抗疲劳磨损,使用寿命达 3 a,甚至更长,可替代电解镀铬钢领。

## 参考文献:

- [1] 荆越.关键纺纱器材[M].北京:中国纺织出版社,1997, 310-317.
- [2] 孔永华,李东方,宋东亮,等.瑞士 Bräcker 钢领与国产轴承钢领性能研究[J].棉纺织技术,2012,40(4):19-22.
- [3] 张钧,赵彦辉.多弧离子镀技术与应用[M].北京:冶金工业出版社,2007.
- [4] 刘海.电弧离子镀氮化铬涂层的组织结构及性能研究[D].吉林大学,2006.
- [5] 钟彬. $\text{CrN}$  薄膜的制备及腐蚀性能分析[D].大建理工大学,2006.
- [6] 李金丽. $(\text{Ti},\text{Cr})\text{N}$  薄膜的多弧离子镀工艺显微结构及力学性能研究[D].中国地质大学,2006.
- [7] 冯正.非平衡磁控溅射  $\text{CrN}$  薄膜的表征与性能[D].武汉大学,2008.
- [8] 陈范才,肖金,周琦,等.现代电镀技术[M].北京:中国纺织出版社,2009:12-30.