

上海市热处理新成果汇编

上海市经济委员会科学技术处编

前 言

上海是我国主要工业基地之一。在党的改革、开放政策的指引下,本市科研、工程技术人员在生产实践中,辛勤研制,努力开发,消化、吸收引进技术并不断创新。近六年来,上海市有关单位在热处理工作中,取得了可喜的成果。为了更好地总结经验,进一步推广应用这些新成果,上海市经委技术开发处负责组织征集稿件,本着“先进、实用”的原则,在众多的成果中,精选出 127 篇在科研及生产实践中均获得显著效益的成果(论文),编辑、出版《上海市热处理新成果汇编》一书,供工厂、企业、大专院校、科研单位及热处理专业人员参考、借鉴。

本书有关热处理工艺、设备、材料、检测、节能、环保和引进消化等方面的内容,大部分是首次公开发表,基本上体现了本市近六年来热处理方面的先进水平。主要内容包括以下几方面:

基础理论应用方面:包括双相区淬火、组织遗传、奥氏体氮碳共渗、强韧化处理等理论与生产实践相结合的新成果。

传统工艺方面:介绍了大型锻钢件的扩氢退火时间, Cr 12 模具钢的常规热处理的再探讨新成果。

化学热处理工艺:以“氨加二氧化碳”为原料气的软氮化成功地应用于 135 柴油机曲轴的表面强化、负压脉冲氮化、氧氮共渗等工艺应用于生产的成果。

特种工艺方面:介绍真空热处理应用于刀具、螺纹工具、显微手术器械等方面的成功经验,物理气相沉积技术的应用及激光热处理试验。

专用设备方面:结合产品特点要求,有关企业自制了具有高效节能、高水平、高质量各具特色的设备。

新型设备方面:本市开发研制了滴控式箱式炉,网带式热处理炉双排可控气氛热处理生产线,氮基气氛连续式氮化炉,轴承钢连续退火炉等及其应用。

引进设备方面:介绍了有关单位在引进设备中所积累的关于使用、维修、保养、国产化和创新等方面的经验。

微机应用方面:介绍微机在热处理工艺过程中控制温度、压力、气氛等参数在生产中的初步应用技术。

节能技术方面:介绍高频加热设备中,采用高压硅堆整流技术、履带式红外陶瓷电加热器应用于大型焊接件的焊缝消除应力,节能筑炉材料等。

此外,本书还收集了气氛制备技术,新型淬火介质,耐火材料,测试手段,模具钢新钢种的推广应用和热处理。

本书由上海市经委赵长生同志任总编。上海机械制造工艺研究所赵金生同志为主编。上海电工机械厂李廷威同志、上海船厂周濂钊同志、上海红星机械厂戴仁燕同志任编辑。出版工作由上海市机电设计院孙永良、项瑞青同志承担。借此出版之际,特向支持本书编辑出版工作的单位和个人致以衷心感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，以及稿件来自各个方面，书中疏漏不妥之处敬请读者批评指正，深表谢意。

上海市经委 赵长生
一九八八年十二月二十日

目 录

1. 不锈钢刀片刃口真空镀膜强化工艺研究	孙洪斌(1)
2. 形变与化学热处理复合处理	朱雅年(4)
3. DM-22 型网带式淬火炉的使用性能及工艺研究	戴孟玉(9)
4. 岩石隧洞掘进机盘形滚刀耐磨性研究	荣雪华(16)
5. 一位微机在叶片高频淬火中的应用	白志仁(19)
6. 7 CrSiMnMoV 模具钢	孙文全(23)
7. LD 钢在冷挤压模上的应用	王伟雄(28)
8. 新材料、新工艺在轴承模具上的应用	马方宇(29)
9. 我厂热处理的技术改造	黄允峰执笔(34)
10. 加压气淬真空炉	张宏康(39)
11. 保护气氛连续热处理炉耐火材料的研究	上海第二耐火材料厂(45)
12. 引进“沙菲特”振底淬火炉简介	王从宜(49)
13. 柴油制备“浓”放热型气氛应用的初步体会	周仁彬(52)
14. 粘胶纤维切断刀的磨蚀及提高寿命的研究	蒋柏春(53)
15. 沸石筛分制氮及氮基可控气氛淬火工艺	孙立蓉(57)
16. 碳氮共渗旋转罐炉	管乐泉(63)
17. 淬硬合金钢用于磨料磨损的研究	顾克成(66)
18. 60 Si 2 Mn 螺旋弹簧钢组织与性能关系的研究	李炯辉(74)
19. 7 Cr 7 Mo 2 V 2 Si 钢的应用	姚 良(80)
20. 铍青铜淬火炉	尤云章(83)
21. 新型高速钢在我厂的推广应用	宋永祚(85)
22. 高速钢氧氮化渗层组织的研究	孙翠英(88)
23. 国内外同类型轴承材料热处理质量对比分析	李湘令(91)
24. 电火花合金化层形成规律及其性能研究	王荣华(95)
25. 油泵心轴的选材	杨伟忠(105)
26. 铝合金压铸模新材料—Y10 热作模具钢	唐勉之(109)
27. 保护气氛连续退火炉热调试小结	陈汉辉(112)
28. 外热式流态床热处理	赵爱眉(118)
29. 热风循环回火炉	钱锦伟(121)
30. 用轻柴油制取放热式气氛	满家瑞(123)
31. 粗大奥氏体晶粒的形成原因及其消除方法	周子年(132)
32. OOCr 13 Ni 6 Mo Nb 钢的热处理工业试验和生产	林 亮(138)

33. 铍青铜双重时效处理工艺	庄建雄(143)
34. 螺纹工具的真空热处理	冯力行(148)
35. 相变塑性在轴类零件热处理变形校直中的应用	关 莹(155)
36. 金属材料深冷处理后的耐磨性试验	陈守百(157)
37. 膜片弹簧的热处理	米和生(162)
38. 低碳马氏体处理在钢锹上的应用	上海市川沙轧钢厂(163)
39. 低淬钢小模数齿轮微观组织的控制(摘要)	李 钢(166)
40. 几种新热处理油的应用	吴荣真(171)
41. 中碳钢罗拉的高频淬火	上海纺织机械专件厂(177)
42. 退火工艺因素对高导磁合金磁性的影响	胡胜庆(179)
43. 双面齿锯条的感应加热淬火	陈 熙(183)
44. 阀片可控气氛热处理	伦厚远(185)
45. 真空热处理在显微手术器械上的应用	鲍国华(187)
46. 65Mn 钢接头临界区淬火	潘长柏(188)
47. 艉轴管电渣焊焊缝热处理	潘长柏(192)
48. 夹线板及梭门底(盖)的薄层硬化	沈长安(194)
49. 9Cr2Mo 钢真空处理钢水锻件缩短锻后热处理周期试验研究	李国宪(196)
50. QAL 9-4 和 ZQAL 9-4 青铜的热处理	丁耀祖(202)
51. 石棉大辊筒的热处理	丁耀祖(206)
52. 高速钢低压氧氮化工艺	金达义(208)
53. 滴注式 S-N 共渗及其应用	缪铁堡(213)
54. 汽轮机末级叶片进汽边高频淬火	沈宝根(218)
55. 4.3% Si 热轧硅钢片氢气退火炉气的研究	丁其生(222)
56. 具有理想冷速的有机聚合物淬火介质	王荣华(226)
57. 离子氮化最佳工艺参数的正交试验	杨伟忠(233)
58. 热喷熔在氮化螺杆上的应用	唐宗杰(238)
59. 50 kg/m 250 m 焊接长钢轨可控硅中频全长淬火	梅新六执笔(241)
60. 微机控制深层渗碳处理	荣雪华(246)
61. 空气介质发黑技术初探	贺俊德(248)
62. 大型热处理炉的节能	汤春生(251)
63. 高频装置高压整流必须改革	徐钟搏(253)
64. 钢球缺陷涡流自动检查仪	上海钢球厂(255)
65. 滴注式保护气氛在钢球热处理中的应用	米久云执笔(260)
66. 1号 高速淬火油的使用小结	马方宇(267)
67. 自行车钢珠热处理技改效益高	上海自行车钢珠厂(270)
68. 指甲钳热处理的改革	周秋妹(271)
69. 八角锤的等温热处理	戴仁熹(273)
70. Cr 12 钢冷挤模的强韧化处理	戴仁熹(274)

71. 上海地区近几年来手用锯条材料及热处理进展 冯占品(276)
72. 西德来茵制针公司热处理设备在我厂的应用 杨贵枝(278)
73. 引进日本箱式氢气退火炉使用情况介绍 张洪庆(283)
74. 25 CrNi 3 MoAL 析出硬化模具钢生产试用小结 上海人民电器厂(286)
75. 针织机针筒针盖负压脉冲氮化工艺试验 上海交通大学机械厂(288)
76. 氧化锆氧传感器的研制 张企明(293)
77. 钟发条带钢淬火油蒸气的治理 纪延林(298)
78. 表面强化处理在轴承上的应用 马方宇(300)
79. 高温碳氮共渗的研究 郑经斌(303)
80. 滴控碳氮共渗工艺在自行车零件上的应用 上海自行车三厂(307)
81. 渗碳齿轮碳势自动控制研究 潘健生(309)
82. 微机自控抗蚀装饰氮化在自行车零件上的应用试验 阳郁澄(315)
83. 淬火油添加剂在轴承热处理中的应用 翁维山(321)
84. 气体碳氮共渗工艺及在轻工零件生产上的应用 肖顺枢(326)
85. 双排可控气氛热处理自动线 机械部第二设计院(334)
86. 齿面硬度计简介 孙志山(338)
87. 9 Cr 2 Mo 类钢大轧辊锻后细化晶粒工艺 李青松(342)
88. 用电移剥层分析法测定渗硼层硼的浓度及其分布 刘秀明(346)
89. 柴油机连杆螺栓调质硬度的无损检测 李光瑾(350)
90. 淬火油添加剂的性能和应用 张文俊(354)
91. 新型氮化钢 28 Cr 3 MoV 钢的特性 顾敬善(360)
92. 氯化钡废水的处理 孙福堂执笔(363)
93. 高速钢仪表钻真空热处理工艺试验 樊世灏执笔(366)
94. 引进刀具涂层设备和技术初步应用 金达义(370)
95. CW 9 Mo 3 Cr 4 VN 高速钢的试验与应用 宋永祚(375)
96. 热轧轴承钢材在连续炉中球化退火工艺试验研究 陈汉辉(381)
97. 铜镍合金铸坯的光亮退火 章军(388)
98. 小型内孔硬度计简介 张承信(389)
99. 开展对外协作增加企业和社会效益 上海机床厂热处理车间(391)
100. 3 Cr 2 W 8 V 钢里芯热冲头复合热处理的研究 上海交通大学模具研究所(395)
101. 奥氏体氮碳共渗的研究 朱雅年(403)
102. 上置式布氏硬度计 陈伏生(409)
103. 热锻模碳氮共渗——强韧化复合处理工艺及其应用 李光瑾(412)
104. $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$ 气体软氮化在曲轴热处理上的应用 汤家瑞(417)
105. 快速测定水溶性淬火介质的浓度 陆大魁(421)
106. LC 4 高强度铝合金热处理工艺方法的探讨 孙昌兴(423)
107. $\varnothing 1\,000 \times 16\,00$ mm 强对流罩式光亮热处理炉 许仁麟(430)
108. 对引进氨分解设备的消化吸收 赵瑞瑜(436)

109. 亚临界处理对大截面用 25 Cr 2 NiMoV 钢性能影响的研究 郑圻桢(438)
110. 甲醇低温裂解气——氮保护气氛在高强度螺栓用料 35 号钢线材退火上的应用
..... 张兴祖(446)
111. 轴承锻件退火炉 姚心仪(448)
112. 8 Cr 2 MnWMoVS 易切削模具钢的应用 袁谷良(450)
113. 滴注式内回推连续渗碳炉机组在缝纫机螺丝热处理上的应用
..... 上海机械制造工艺研究所(452)
114. 球铁曲轴“氮化滚压”复合强化工艺及氮基气氛连续式氮化炉 ... 上海内燃机厂(457)
115. 货轮尾柱焊后除应力的新方法 纪燕铃(469)
116. 上海市引进热处理设备概况 赵金生(472)
117. 低温奥氏体渗氮淬火复合处理 陈福福(489)
118. 稀土—硼共渗层的组织与耐磨性 张士林(494)
119. 灰铸铁活塞的软氮化 米和生(499)
120. 螺旋板式冷却器及自动测温报警仪在淬火油槽中的应用 林 亮(500)
121. 滴注式密封箱式电炉及工艺应用 田润生执笔(502)
122. 可控渗氮工艺和 DK-2 型氮势控制柜 瞿正秋执笔(508)
123. 精冲模的使用寿命与选材研究 上海交通大学(516)
124. 自行车轴管冷挤压凸模选材研究研制报告 上海交通大学(520)
125. 模具表面的电火花强化 杨承楠(525)
126. 氮化零件几何要素与氮化变形的关系 李廷威(529)
127. 自行装配的引进热处理生产线 王玮执笔(537)

不锈钢刀片刃口真空镀膜强化工艺研究

上海市机械制造工艺研究所 孙洪斌*

为了提高我国不锈钢刀片的质量,使产品升级换代,开发应用刃口真空镀膜强化工艺是相当重要的技术措施。

一、前言

自从本世纪初美国的 K:LGillette 发明了保安刀片和刀架以来,无论在刀片和刀架的结构上,或者在材料和加工工艺上都不断地得到提高和改进。剃须刀片已成为人们日常生活的必用品了。

刀片的刃口是经过粗磨→细磨→精磨→荡磨而逐步形成的,刃口一般有二三个水平面构成,最终形成的小平面(刃尖面)宽度仅十几 μm ,刃口角为 $2\sim 25^\circ$,刃尖的曲率半径仅几千埃。由于刃口如此精密,所以很容易造成机械损伤和锈蚀。为了保证刃口的硬度,不锈钢的碳含量应 $\geq 0.6\%$,由于碳含量较高,所以不锈钢刀片在使用中仍容易产生一定的锈蚀现象,尤其是刃口部位。再则,为了改善剃须的舒适感,人们采用了涂膜技术,在刃口表面喷涂一层聚四氟乙烯之类的有机薄膜。限于涂料需要在 400°C 左右的温度下烧结,由此产生了钢的硬度下降,影响了耐用性。如果在刀片刃口涂复有机润滑薄膜之前,先在刃口上镀复一层耐腐蚀性能好和硬度较高的金属、合金或化合物薄膜,便能够克服上述缺陷。最早开发这项工艺技术的是美国 Billtte 公司等。他们在 70 年代初用高频溅射法成功地在不锈钢刀片刃口上镀复了铂铬合金或其他合金保护膜,从而使刀片的耐用度和舒适感提高。金属镀膜刀片已成为国际市场上的高档产品。

二、工艺试验

(一) 镀膜材料和工艺要求

1. 足够高的硬度和耐热性。膜的材质硬度应高于刀片基体的硬度 ($\text{HV} > 750$);在喷涂碳氟化合物(如聚四氟乙烯等)涂料烧结温度 ($350\sim 420^\circ\text{C}$) 下硬度不变。

2. 足够高的耐腐蚀性能。能够抵抗在使用环境下所接触的腐蚀性介质的侵蚀。

3. 良好的附着力。与刀片基体材料和外层的碳氟化合物材料都有良好的附着力。

4. 能适合大规模工业生产条件,成本低廉,工艺简便等。

根据上述要求,我们初步确定了氮化钛、碳化钛、硬铬和氮化铬等几种镀膜材料,通过大量的镀膜性能测试和实际剃刮试验,不断筛选,认为采用氮化铬镀膜材料比较理想。

(二) 工艺原理 根据刃口镀膜工艺特点和工业性生产要求,我们采用了我所最近研究成功的三极磁控(反应)溅射工艺和相应的设备,3 FJ-700 型三极磁控溅射设备。第 539 页图 1 为该设备的外型照片。

磁控溅射的最大特点是沉积速度高和沉积温度低。但是一般的磁控溅射气压为 $1\sim 0.1\text{ Pa}$ ($10^{-2}\sim 10^{-3}\text{ Torr}$)。如果将溅射气压降低,这对镀膜的纯度、致密性和附着力的提高是有利的。为此,我们在磁控靶两侧增设

* 参加本研究工作的还有尤钟德、江荣华、艾宇明、叶书丹;上海刀片厂陈和生、张建安等。

了灯丝阴极和附加磁场。利用灯丝发射热电子,并在磁场的作用下提高等离子区中的电子密度,提高电离率。这样的改进,不仅使溅射气压降低到 10^{-2} Pa(10^{-4} Torr),而且大大

提高了靶的利用率。这就是我们所称的三极磁控溅射法,图1为这种方法的原理示意图。

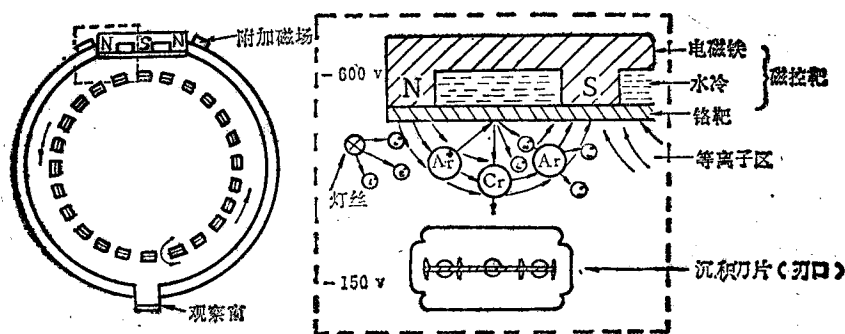


图1 刃口真空镀膜装置及三极磁控溅射原理示意图

在溅射气体中渗入一定分压的反应性气体,使之与从靶材中溅出来的靶材原子反应形成化合物的方法,就是人们所熟知的反应溅射技术。

(三) 工艺过程 本工艺大体上可以分为以下几个阶段:

1. 装炉前的刀片清洗。在实验室里我们主要采用超声波清洗法。用丙酮或酒精等有机溶剂,清除刀片表面的油污、尘埃和其他污染物。

2. 装炉。将经过严格清洗过的刀片,利用刀片中间的长槽,叠放在用不锈钢板制成的签架上,然后放置在沉积室工件旋转台上,同时再放置随炉试样。

3. 抽真空。用真空泵将沉积室内的空气抽至 10^{-3} Pa(10^{-5} Torr)以上。

4. 加热脱气。利用灯丝的热辐射,将刀片徐缓地升温至 200°C 以下,以加速表面吸附气体的解吸。

5. 离子轰击净化。向沉积室通入氩气至 1.3 Pa左右(10^{-2} Torr),刀片作阴极,使氩离子对包括刃口在内的刀片表面进行轰击,除去氧化膜、污染物以及吸附的气体。适度

的离子轰击还可以除去刃口表面的毛刺。提高平滑度。离子轰击的时间约1 min。

6. 沉积金属和金属化合物。调节沉积室的氩气压力为 5×10^{-2} Pa(4×10^{-4} Torr)左右,接通靶电源,产生辉光放电。靶材原子(铬原子)从靶表面逸出,刀片随着签架的公转和自转,经过靶附近时溅射物便在其表面沉积成薄膜。第539页图2为靶工作的表面辉光情况。

靶阴极电压 -500V ,电流密度 27 mA/cm^2 沉积氮化铬,刀片温度为 200°C 左右,通入一定分压的纯氮气,使从靶材表面溅射出来的铬原子与氮气产生反应形成氮化铬,即: $2\text{Cr} + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{CrN}$ 。

为了便于控制薄膜厚度,沉积速度不宜较高,一般选择在 $80\text{ \AA/min}$ 左右(基片旋转)。镀膜厚度一般控制在 $150 \sim 250\text{ \AA}$ 。

三、镀膜性能测试

(一) 厚度与组分 我们主要采用俄歇电子能谱仪来测定薄膜的厚度和组分。图2为国产不锈钢刀片(剑鱼牌)刃口镀复氮

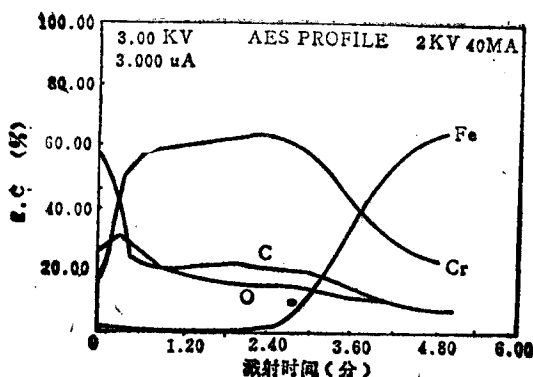


图2 刃口镀膜层的Cr、Fe、C等元素俄歇纵深分布
Fe、C来自基体。

化铬薄膜后的俄歇纵剖图象,根据俄歇溅射时间和溅射速率可以估算出该薄膜的厚度大约为200 Å。

(二) 镀膜前后的刃口形貌 在扫描电镜下观察刃口在镀膜之前的形貌,发现刃面不够平整,有缺口和毛刺(第540页图3)。刃口镀复之后,缺陷有了明显改善。刃口镀复后平滑度获得提高,一是由于离子轰击净化过程中消除了一些毛刺;二是由于镀膜起了铺平作用。这正是刃口镀膜刀片剃须舒适感好的主要原因。

(三) 刃口有效硬度 采用Knoop压头测量了不锈钢刀片刃口未镀复氮化铬薄膜的有效硬度(刀片基体材料与刃口涂复聚四氟乙烯薄膜的硬度叠加),大约为HK 0.025 670;刃口镀复氮化铬薄膜之后提高到HK 0.025 810~910。氮化铬薄膜厚度185~245 Å。测定国外刃口镀铂铬合金刀片的刃口有效硬度大约为HK 0.025 810~820。

(四) 刃口的耐腐蚀性能 不锈钢刀片刃口镀复氮化铬薄膜之后,耐腐蚀性能可获得很大提高,这从盐水喷雾试验结果中得到证明,在相同试验条件下,盐水浓度3% (NaCl), pH 6.8, 15min/h × 4;未镀膜的刀片,在刃口处产生了1/3~1/2面积的锈蚀;而经过镀膜后的刃口几乎未发现锈蚀现象。

(五) 刃口锋利耐用度冲击试验 我们根据有关文献介绍,制作了一台简易的冲击式刀片锋利度测试仪。利用该仪器对刃口镀膜刀片与刃口未镀膜的刀片进行了刃口锋利度耐用性对比试验。试验结果表明,刃口镀氮化铬薄膜的比未镀膜的其刃口锋利耐用度高一倍以上,与国外刃口镀铂铬合金刀片相当。

(六) 剃须试验 剃须试验仍是当前用于检验刀片质量的重要方法。从数百人次的连续剃须试验(两种需比较的刀片连续在每人的一半脸上剃刮,比较其效果),间断剃须试验(两种需比较的刀片在一个人脸上各剃刮一半,比较其效果)结果表明,刃口镀复氮化铬薄膜的刀片剃须舒适感比未镀膜的好,耐用度提高了一倍。

在扫描电子显微镜下观察,经过连续剃须20人次之后的镀氮化铬刀片的刃口,其磨损情况还比较平整,而没有经过镀膜的刀片,当连续剃须14人次之后,剃须有痛感,将其刀片在扫描电镜下观察,发现刃口有较严重的缺口。

四、经济效益

(一) 本设备的生产能力高 每炉可镀复双面刀片10万片以上(有的国外设备每炉约4万片),处理周期在90 min以内,如果两班制,每年300个工作日计,则每年可加工3亿片,足够满足一般刀片厂的生产要求。

(二) 处理成本低 经计算每炉需能源、原辅材料费约2.80元,人工费2.40元,设备折旧费4.30元,房租及其它费用0.40元,以此每炉成本约10元。以每炉处理10万片计算,折合每片成本约0.01分。

(三) 社会经济效益高 刀片刃口镀膜强化之后,不仅可以提高使用寿命一倍,而且剃须舒适感好,必定会受到消费者的欢迎。

据闻, 香港市场上的不锈钢金属镀膜刀片比一般刀片贵 50% 以上。如果国产刀片经镀膜后可升级为高档产品, 按 30% 的提价率计算, 扣除成本后, 每片可获得 0.0299 元净利(未镀膜刀片每片售价 0.1 元)。若以年产量为 4 千万片计算, 相当于上海某厂目前的不锈钢刀片产量), 则每年可获利 119.6 万元。可见经济效益是非常可观的。再则, 刃口真空镀膜工艺为提高国产刀片在国际市场上的竞争力提供了一项重要的技术措施。

五、结 论

(一) 不锈钢刀片刃口镀复氮化铬薄膜, 明显地改善了刃口的平滑度、有效硬度(从 HK 0.025670 左右提高到 HK 0.025900 左右)、刃口强度和耐腐蚀性能, 从而提高了刀片的

耐用度和舒适感。剃须试验表明, 刃口镀复氮化铬膜后可提高使用寿命一倍左右。

(二) 采用三极磁控反应溅射工艺及其设备进行刀片刃口镀膜强化, 工艺简单, 操作方便, 设备处理能力大, 加工成本低, 经济效益好。

(三) 采用本工艺对国产不锈钢刀片刃口镀复氮化铬薄膜其膜层均匀性、刃口有效硬度、耐腐蚀性、耐用度和舒适感等主要性能达到了国外优秀刃口镀膜刀片(美国 Gillette 刃口镀复铂铬合金薄膜)的水平。氮化铬镀膜等成本低廉, 不用稀贵的金属, 便于推广应用。

本设备自 1986 年投产应用迄今, 已近三年, 运行情况始终良好, 所涂复的刀片, 早已畅销各市场。

形变与化学热处理复合处理

上海工业大学 朱雅年 符仁钰 魏馥铭 王秉建 郑 强

一、前 言

形变与化学热处理复合是一种将形变强化与化学热处理综合的强化方法。它在提高钢的表面接触疲劳强度和耐磨性方面比一般的化学热处理显得更有效。而在提高强韧性方面又比单用形变热处理的效果好。所以, 这两种处理的结合是一种很有发展前途的综合热处理工艺。

形变对扩散过程的影响, 近年来已有不少学者指出, “应力和形变均使铁的自扩散加速, 对于置换固溶体的溶质原子扩散过程的影响与铁类似”。至于形变时, 间隙原子(碳、氮)扩散的影响, 目前尚有较大的争论。有人

认为: 形变加速碳原子扩散。但也有人认为: 塑性形变使碳在奥氏体中的扩散系数减小。前一种观点是把位错看作扩散通道, 后一种则认为碳原子在位错附近聚集, 延长了扩散过程的“停歇”时间。事实上, 影响间隙原子扩散过程的因素是很复杂的, 有利因素也有不利因素。因此, 弄清一些主要因素, 掌握一些规律, 选择合适的条件, 对发展形变与化学热处理复合的新工艺, 显然是十分重要的。

二、试验材料和方法

为避免各种因素相互干扰, 试验用钢采用工业纯铁, 其化学成分见表 1。坯料先轧制到不同的厚度, 经 860 °C 真空退火 2 h

后再轧至 1 mm 厚的板材，形变量按下式计算：

表 1

元素含量	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
工业纯铁 (%)	0.04	0.03	0.10	0.03	0.015	0.20	0.10	0.15

$$\varepsilon\% = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100\%$$

h_0, h 为试样冷轧前后的厚度。

本试验采用的形变量为：0%，16.7%，33.3%，50%，75%。

拉伸和冲击试样的形状及尺寸如图 1 所示。渗碳在 RQ3-35-9 井式炉内进行，渗剂为煤油和甲醇，处理温度为 920℃，时间 15min、30min、60 min，离子渗氮在 2 kVA 钟罩式离子渗氮炉内进行，渗剂为液氮，真空度 226.7Pa，温度 560℃，时间为 180 min。

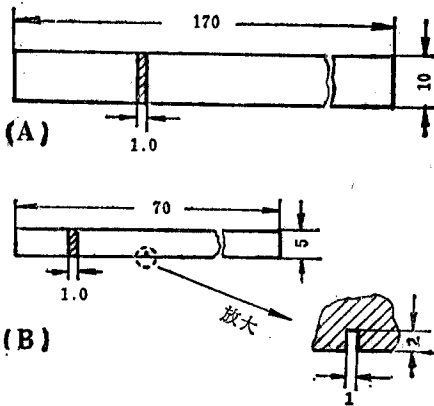


图 1 试样尺寸及形状
(a) 拉伸试样 (b) 冲击试样

拉伸试验在 LDS 10 吨拉伸机上进行，用 6-3 型冲击试验机作冲击试验，S-550 SEM 扫描电镜检查断口形貌，Y-2 型 X 射线仪测定表层相结构。

三、试验结果与分析

(一) 组织与结构 形变后纯铁的显

微组织、不同形变量与渗碳复合处理，与离子渗氮复合处理的组织形貌见图第 541 页图 1。

从这些组织图中可看出下列几点情况：

1. 单形变未经化学热处理的纯铁组织，随着形变量增加，晶粒等轴状逐渐拉长，变成纤维状，晶粒内部还有明显滑移带。

2. 形变与气体渗碳复合渗层组织，由表及里依次为过共析—共析—亚共析—心部纯铁组织，心部的纤维状已再结晶而恢复等轴状晶粒。

3. 形变与离子渗氮复合处理后，渗层组织由化合物层和扩散层所组成。形变量较小时，扩散层中 r' 相比较粗大。形变量很大时，晶粒被拉长、破碎呈纤维状分布。 r' 相也显得比较细小。离子氮化后，心部组织尚未发生再结晶，故仍保持变形状态的晶粒形状，化合物层厚度变化不大，都为 6~7μm 左右，X 射线分析指出，表面主要是 ε 及 r' 相，如图 2 所示。可见形变对化合物层的结构无明显影响。

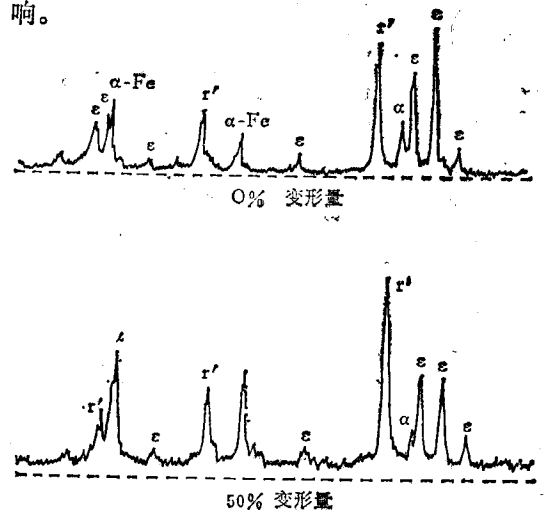


图 2 形变与离子渗氮复合后渗层的 X 射线衍射图 Mo-Kα

(二) 渗层厚度与硬度分布 形变与气体渗碳复合的渗层厚度是以测到 1/2 珠光体处。形变量对渗层厚度的影响如图 3 所示。由图可见：

1. 渗层厚度随处理时间增长而增加。
2. 渗层厚度随变形量的变化先是增加, 到一定值后, 又有下降的趋势。此规律在 B_2F 钢中也存在。

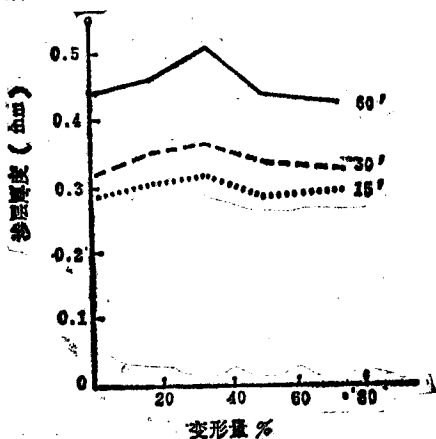


图3 纯铁之形变量与渗碳层厚度的关系

形变与离子渗氮复合后, 渗层厚度与形变量的关系如图4所示, 离子渗层的厚度是以测到扩散层中 r' 相消失为准。图4表明, 随着形变量增加, 渗层厚度趋于下降, 形变量约为50%时, 渗层最浅; 继续增大形变量, 渗层厚度又有增加的趋势。此变化规律与形变渗碳复合的情况正相反。

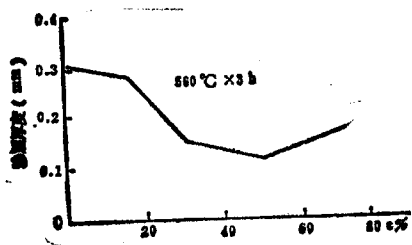


图4 纯铁形变与离子渗氮复合后
渗层厚度与形变量的关系

渗层的硬度分布曲线分别见图5、图6所示。渗碳层的硬度分布曲线也存在一个最佳形变量, 它与渗层厚度与形变量的关系相对应。即对纯铁而言, 最佳形变量为33.3%。

渗氮层由于表面有化合物层, 虽很深, 但硬度仍较高, 其值与形变量无明显关系, H_v

均为650~700左右。而渗层的复合强化效果可由扩散层的硬度分布予以表征, 随形变量增加, 强化效果相应增加, 但增强的幅度并不大, 心部硬度有明显差异, 说明心部尚未发生再结晶, 只有多边化过程, 故仍保留着形变强化的效果。

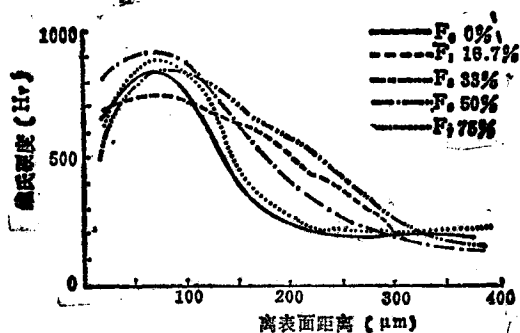


图5 纯铁形变气体渗碳层的硬度分布
曲线 (920°C × 30 min 后淬油)

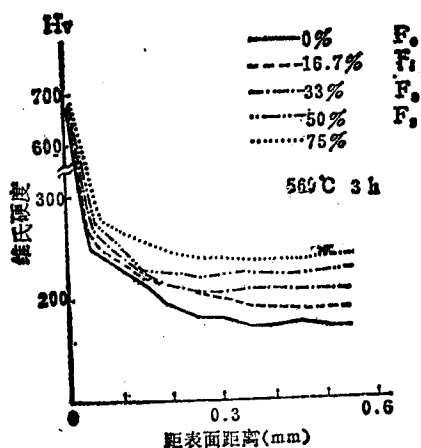


图6 纯铁形变离子渗氮复合后
渗层的硬度分布曲线

(三) 拉伸及冲击性能 形变气体渗碳后, 试样的拉伸强度列于表2。可见单纯形变试样的拉伸强度 σ_b 随形变量增加而增加, 而经形变气体渗碳复合的试样, 其 σ_b 值随形变量变化的趋势与渗层厚度的变化规律相似, 即有一最佳值, 此值与最佳层深相对应。可以认为, σ_b 的这种变化完全是受渗层厚度影响所致, 由于试样心部已发生再结晶,

故没有出现复合强化的效应。

表 3 所示的冲击韧性变化是：单纯形变的试样，随形变量增加，韧性下降，而经复合处理试样，冲击韧性随形变量变化的趋势不明显。

表 2 纯铁形变和形变气体渗碳后拉伸强度

$\epsilon\%$	处理工艺($\rho_{\text{H}} \times \text{kgmf/mm}$)	
	单纯形变处理后	形变+920℃ ×15min 渗碳
0	34.0	46.0
16.7	37.5	49.5
33.3	41.5	57.5
50	46.0	55.0
75	52.0	54.0

表 3 纯铁形变和形变渗碳后的冲击韧性

$\epsilon\%$	处理工艺($\rho_{\text{H}} \times \text{kgf} \cdot \text{M/cm}^2$)	
	纯形变	形变+920℃ ×15min 渗碳
0	0.3550	0.0950
16.7	0.2250	0.0750
33.3	0.1880	0.1000
50	0.1200	0.0875
75	0.0750	0.0875

然而，令人感兴趣的是形变与离子渗氮复合的纯铁试样，在冲击试验中，表现出明显的复合强化效果，其结果用曲线示于图 7。单纯形变的试样，随形变量增加，冲击韧性下降，但经与离子渗氮复合后，冲击值在形变量达到某一值后，出现突然升高现象。冲击试样的断口也不同，小于 20% 形变量时断口呈结晶状，大于 50% 形变量时，断口完全呈纤维状，33% 的断口介于上述两者之间。用扫描电镜对断口分析后，其形貌也有明显区别。0% 形变和离子渗氮的试样，断口为典型的解理破断，呈沿晶断口、并有舌状和河流花样。而在 50% 形变量 + 离子渗氮复合的试样中，断口完全呈韧窝状的韧性断裂(第 542 页图 2)。可以认为，随着形变量的增加，韧性与形变量关系曲线中出现一个韧-脆转变点，与韧脆转变温度曲线很相似。

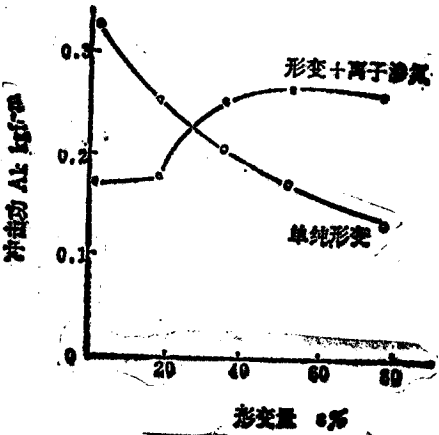


图 7 纯铁形变与离子渗氮复合处理后冲击韧性随形变量的变化关系

四、讨 论

(一) 关于渗层厚度 在我们的试验条件下，试验结果证明：适量的塑性形变，对渗碳有加速的效果，因此时由形变引起位错密度及位错结构对碳原子扩散有利，碳原子沿位错道扩散的激活能很小(有资料认为其仅是晶内激活能的一半)。碳原子在位错内或位错附近地区的跳跃频率较大。所以随形变量增加，位错密度增加，会使碳原子扩散速度加快，而且形变后的高能表面状态也有利于碳原子的吸附，造成表面高碳浓度，促进了碳原子向内扩散。用剥层试样按菲克第二定律计算了扩散系数D见表 4。结果表明了在一定的形变量下，D 值最大。但当形变量较大时(如大于 50%)，扩散系数降低，渗层也减薄，其原因可否作如下解释：形变试样在渗碳加热初期，碳原子很快渗入工件表面，并择

表 4 纯铁形变气体渗碳中扩散系数

形变量 $\epsilon\%$	扩散系数 ($D \text{ cm}^2/\text{s} \times 10^{-7}$)
0	2.5×10^{-7}
16.7	3.0×10^{-7}
33.3	3.8×10^{-7}
50	3.5×10^{-7}
75	3.0×10^{-7}

优在位错周围富集、钉扎,使位错变得更稳定,即使在发生相变重结晶后,位错仍然保留下来,但大量的形变引起再结晶形核速率增高,再结晶的开始温度降低,在渗碳加热时,发生再结晶而使位错密度减小,从而减弱了对碳原子扩散的促进作用,所以位错能否保留下来是形成稳定的位错结构和发生再结晶这两个矛盾过程作用的结果。

对碳原子扩散作用的解释为什么不能用于离子渗氮时氮原子的扩散呢?因为试验结果两者正好是相反的。有人曾做过形变液体软氮化和形变气体软氮化复合的试验,结论是随形变量增加,渗层减薄,其原因认为是位错存在,使扩散进入的氮受到束缚,从而阻碍其向内扩散。但为什么位错只束缚氮,而不束缚碳?目前尚无确切的说明。由于本试验做的是离子渗氮,对这种情况可作如下解释:离子渗氮之所以比气体渗氮渗速快,其比较公认的看法是由于离子轰击结果,在工件表面产生一层高密度的位错层,且位错运动方向与氮原子扩散方向一致,故高密度的位错层是加速氮扩散的原因。形变也造成位错,此位错在离子渗氮过程中与离子轰击所造成的位错相互作用,异号位错互相抵消,总的位错密度反而随形变量增加而减少。另一方面,位错密度增加到一定程度,位错线的平均长度随之减小,作为氮原子扩散的通道作用减弱,所以氮的结论正好与碳的结论相反。

(二) 关于复合处理后的强韧性 金属中的韧-脆转变现象常出现在温度改变时,而在形变离子渗氮复合处理的纯铁中,随形变量的改变也出现类似现象。不过在形变气体渗碳复合处理中却没有。因此可以认为形变后的试样,在低温渗氮过程中,发生多边化过程,即形成由小角度晶界组成的亚晶块。位错密度愈高,多边化后,亚晶块的数目愈多,尺寸愈小,晶粒碎化愈严重,亚结构的精细化和形变结构的回复,使韧性增加。另外由形变

造成的纤维状组织,使纵横向性能差别较大,冲击外力垂直于纤维的长度方向,虽然晶界被氮化而削弱,但主裂纹很难沿晶界发展,晶粒的长/宽比愈大,主裂纹发展经过的路程愈长愈难扩展,主应力将在行进过程中被分散,从而使破断形式发生根本变化。形变气体渗碳复合因渗碳温度高,形变晶粒在渗碳后都发生了再结晶,故不出现上述现象。

(三) 关于再结晶的问题 纯铁的再结晶温度虽然与纯度有关,但也不至于比离子渗氮温度(560℃)高,为什么组织不会发生再结晶呢?我们曾将一套形变后的纯铁试样,于560℃加热1h后炉冷,组织观察发现全部试样已完成再结晶。由此,我们认为,由于离子渗氮的作用,氮原子在位错周围的聚集和钉扎,阻碍了位错的重新排列和运动,再结晶的核心就不能形成,推迟了再结晶的发生,这就保留了形变组织及加工硬化的效应。这样复合的结果,试样表面是形变强化和离子渗氮强化互相叠加,心部则保留形变强化效果,因此是发挥材料强韧化的有效途径之一。

五、试验结论和近期研究

(一) 适量的形变能促进渗碳过程中碳原子的扩散,从而使渗层增加。但形变对离子渗氮过程中氮的扩散不利,虽对表面硬度影响不大,化合物层厚度也无变化,但总的渗氮层厚度要浅薄。

(二) 形变离子渗氮复合处理后,试样具有韧-脆转化点,纯铁的转化形变量约为20%左右。可以利用这一现象来发挥材料的表面耐磨、耐疲劳及心部强韧化的性能特点。

(三) 最近还研究了室温形变对低碳钢碳-氮共渗影响和形变与稀土元素与渗碳、碳氮共渗的复合作用影响,结果表明:适量的形变对低碳钢碳氮共渗过程中碳氮原子扩散都

有促进作用。特别是加入稀土元素后,这种促进作用更明显,渗层增厚最大达30%左右。形变造成的晶体缺陷,使原子半径较大的稀土元素容易进入。渗入的稀土又增加了晶格

畸变和位错密度,充分发挥了其催渗的作用。以后还将对其性能作进一步研究。总之,形变化学热处理复合处理是一项很值得探讨的课题,并在生产应用上也有较广阔的前景。

DM-22 型网带式淬火炉的使用及工艺研究

上海纺织工业专科学校 戴孟玉

一、利用 DM-22 型网带淬火炉 对各类零件的工艺测试

本炉对30多种不同类别的零件进行各种淬火渗碳试验和测试工作。

(一) 试验条件 该设备共有三个加热区,三区温度可以各自控制,功率分别为15 kW、15 kW、8 kW。加热区总长度为2100 mm,有效加热长度为1800 mm。加热时间可以从3.5min到2 h左右,用无级变速网带速度和改变减速器上的偏心来改变加热

时间。冷却剂使用70号机油,油温60~180℃左右。并有温度自控装置。其可控气氛为:

1. 采用98%的乙醇裂化,裂化温度在950℃左右。为了测试炉子性能,采用边界条件进行,即乙醇裂化时不采用催化剂,分子筛及干燥剂,裂化后直接进入炉内。乙醇在淬火时用量为每分钟7.5 ml(约每分120~130滴),渗碳时用量约每分钟10 ml,炉内碳势约0.7~0.9左右。

2. 采用氨650℃裂解,每小时消耗量约为2~2.5 L。

(二) 试验工艺规范和测定报告(见表)。

表 部份试验零件工艺规范及测定报告

类别	编号	零件名称	材料牌号	热处理工艺规范	测 试 报 告	备 注
1	1	摇架夹簧	60 Si 2 Mn 钢 (原组织HRB=92, 球化冷冲压成形, 脱碳层0.02 mm)	① 三区温度: 860℃, 860℃, 860℃ ② 加热时间: 9 min ③ 冷却剂: 20℃的70#机油	① 表面光亮无氧化层, 表面脱碳层0.01-0.03 ② 显微硬度: HV=787(相当于HRC 64.5) 宏观硬度: HRA=83(相当于HRC 64) ③ 金相组织: 针状马氏体+残余奥氏体(有少量马氏体)	① 原厂采用振底炉, 可控气氛甲醇+丙酮。 ② 网带炉变形量为0.04 mm, 振底炉为0.25 mm。
2	1	5/01# 家用针	60 钢(冷拉)	① 三区温度: 650℃, 820℃, 820℃ ② 加热时间: 4.5min ③ 冷却剂: 100℃的70#机油	① 表面光亮无氧化层, 脱碳层。 ② 变形量达到厂和部颁要求。	原厂采用振底式淬火炉。气氛: 甲醇。

续表

类别	编号	零件名称	材料牌号	热处理工艺规范	测试报告	备注
	2	5/0 家用针	BJ 2 F 钢 (冷拉d=0.86 mm)	① 三区温度: 880℃, 860℃, 860℃ ② 加热时间 45min ③ 冷却剂: 70* 机油 恒温50℃	① 表面光亮, 变形量达到要求 ② 渗C 层深度 0.188~0.192 mm. ③ 显微硬度: 从表及里HV 752.3, 733.5, 501.9, 420.5 ④ 显微组织: 表面针状马氏体+残余奥氏体 心部低碳马氏体。	原厂为固体木炭渗 碳, 渗炭层难以控 制, 质量差、三废 污染。
3	1	11* 家用缝 纫机用针	T 9 A (总长36, 其中 2×1.4, ∅ ∅0.9×22)	① 三区温度: 650℃, 780℃, 780℃ ② 加热时间: 3.5min ③ 冷却剂 70* 机油 油温 150-160℃	① 表面光亮, 无明显脱碳, 无氧化。 ② 变形: 变形方向一致沿槽的方向变形, 平 均量为 0.126 mm。 ③ 显微硬度: HV 762(HRC 63.4) 宏观硬度: HRc 64 成批抽测。 HRc 相差 1 ④ 组织: 隐针马氏体+残余A+颗粒状碳化 物。	原用箱式炉淬火, 针要放在盒中。 ⁷ 上 加NaCN保护, 淬 后变形量大, 无方 向性, 经热校直后 HRc 50-56。
	2	96×90 工业缝纫 机用针	GCr 6 (球化)	① 三区温度: 650℃, 820℃, 820℃ ② 加热时间: 3.5min ③ 冷却剂: 70* 机油 油温 150℃	① 表面光亮, 无氧化, 脱碳。 ② 变形: 变形方向一致, 平均变形量为0.076 mm ③ 硬度: HRC 65-66 成批抽测 HRc 相差 1 ④ 金相组织: 隐针状马氏体+残余A+密集 碳化物	同 上
4	1	经编机 用针	T 9 A (原始组织为 索氏体)	① 三区温度: 650℃ 760℃ 760℃ ② 加热时间: 4.5min ③ 冷却剂: 70* 机油 油温 90℃	① 表面光亮, 无氧化脱碳 ② 变形: 变形量符合厂要求 ③ 硬度: 显微硬度 HV=781 ④ 金相组织: 细针状马氏体+残余A+少 量颗粒状碳化物	原厂采用振底式淬 火炉乙醇为可控气 氛。
	2	纬编机 用针	T 9 A (原始组织为3 级球化)	① 三区温度: 680℃, 780℃, 780℃ ② 加热时间: 4.5min ③ 冷却剂: 70* 机油 油温 100℃	① 表面光亮, 无氧化脱碳 ② 变形: 根据零件尺寸不同而不一 ③ 硬度: 显微硬度 HV=771 ④ 金相组织: 马氏体+残余A+颗粒状碳化物	原厂采用推杆式或 螺杆式淬火炉, 用 煤气为保护气氛