

辉光离子氮化

离子氮化小组

一、概 述

氮化是一种比较先进的热处理工艺，它的特点是处理温度低，在工件变形极小的情况下，使其获得极高的表面硬度、耐磨性、耐蚀性和尺寸稳定性，提高疲劳强度。因此，氮化工艺在精密机械和仪器制造业中得到了广泛的应用。但是由于普通气体氮化处理周期很长（40—72小时）及表面有脆性，限制了它的广泛应用。因而，近年来陆续出现了各种快速氮化方法，如软氮化、镀钛氮化、高频氮化和辉光离子氮化等。这些方法各有特点，其中以辉光离子氮化法优点较多，有很大的发展前途，可望成为一种先进的热处理工艺。

辉光离子氮化（简称离子氮化），是把待处理的工件放在真空容器中，在容器中充以含氮气体（如氨、氮或氮氢混合气），并保持一定压力（1—10毫米汞柱，简称1—10托），被处理的工件接到电源的阴极，容器接到阳极（或另外放置内阳极），在阴阳极间加以一定的电压，两极间的稀薄气体便产生辉光放电，工件表面布满了一层均匀的辉光（辉光颜色随所充气体不同而异，氢是淡兰色，氮是紫红色，氨是紫兰色）。在辉光放电的电场中，气体以离子状态高速冲击作为阴极的工件表面上，产生大量热量把工件加热到所需要的温度，并在工件表面上产生化学反应和吸附扩散的化学物理过程，比较快地形成了氮化层。

辉光离子氮化是把辉光放电原理应用在金属热处理方面而取得的一项重大成果。基

于在稀薄气体中，电场中阴极附近所特有的强烈的阴极电位降和具有充满大量正离子的阴极位降区，并且在阴极位降区中发生大量正离子对阴极表面进行高速轰击，以及阴极表面受离子轰击而发生的阴极溅射，造成阴极表面被离子轰击而加热和在阴极表面进行物理化学反应过程。因此，如果将工件作为阴极，并在稀薄气体中含有大量氮的正离子，就可以进行对阴极工件的辉光离子氮化。

辉光离子氮化最适合于精密零件的薄层氮化（0.3—0.5毫米）。工件变形小（一般为0.01—0.02毫米），氮化层脆性小（一般为1级），对于一般二级精度以下的零件，都可将离子氮化作为加工的最后工序，不需再加工，对于更高精度的零件则只需留少量磨量或研磨量即可。离子氮化适用材料广泛，通用性强，适用于绝大多数零件的处理（形状与尺寸几乎不受限制），可以整体氮化，更适于局部氮化。离子氮化大大缩短了氮化周期，生产效率高，例如，对38CrMoAlA钢氮化深度0.4~0.5毫米，过去气体氮化时，采用520℃保温72小时，每炉周期80小时以上，现改用离子氮化，采用550℃保温6~8小时，每炉周期8~10小时。离子氮化安全节电，在单件小批量生产时，其优越性更显著。离子氮化虽然有上述一系列优点，但是由于设备比较复杂，调整和操作也比气体氮化困难些，因而对离子氮化的操作人员，要求具备一定的电气和真空知识，这些是不足之处。

我国在辉光离子氮化设备的设计和制造，辉光离子氮化工艺的研究方面已经取得了很大成绩。在毛主席革命路线指引下，高

举“鞍钢宪法”旗帜，坚持独立自主、自力更生，红湘江机器厂的工人和科技人员，首先在1971年研制成功一台12仟瓦辉光离子氮化炉，并投入了生产。北京机床研究所、武汉第四机床厂、湖北建工学院和北京铁道科学研究所等单位也做了大量工作，为辉光离子氮化工艺在我国广泛推广和应用奠定了基础。

目前辉光离子氮化已用于处理齿轮、缸套、阀片、活塞肖、曲轴、量具、切削刀具、模具、精密丝杠等多种零件上，都取得了良好效果。处理的最小工件为直径0.7毫米的园珠笔钢珠，最长为7.5米丝杆，最重为6吨重轧辊。离子氮化工件的材料，除氮化钢外，扩大到普通低合金钢(18CrMnTi、20Cr等)、不锈钢、珠墨铸铁以及钛基合金。为了解决碳素钢硬化问题，一些单位正在开展离子软氮化工作。

为了满足精密机械零件特殊热处理和特种材料热处理的要求，应用和推广辉光离子氮化有很重要的意义，为此，我们开展了辉光离子氮化工作。本文介绍了离子氮化工艺试验和初步生产应用的结果，并提出了一些粗浅的看法。

二、辉光离子氮化炉简介

辉光离子氮化炉由四部分组成，包括真

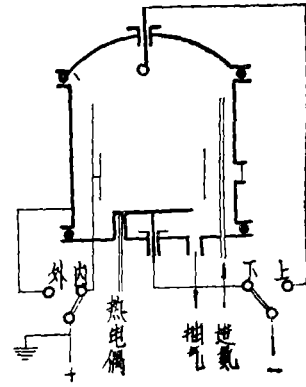


图1 辉光离子氮化炉示意图

空室、真空系统、供气系统和供电系统。

炉子额定功率30仟瓦，输入三相380伏，输出直流0~1000伏，0~30安，真空室极限真空度为 5×10^{-2} 托，装工件容积：单节真空罩直径550毫米高800毫米，双节组合时直径550毫米高1500毫米。根据工件特点，可采用在下阴极底盘上堆放或在上阴极吊钩上悬挂两种方式进行处理。

三、辉光离子氮化工艺试验

为了探索辉光离子氮化工艺的特点，我们选用了四种钢材，进行了初步工艺试验。材料化学成份见表一。采用梯形试样12×12×70毫米，氮化前试样表面磨成 ∇_7 光洁度。

表一、试样材料化学成分(%)及予备热处理

钢号	C	Cr	Mo	Al	Mn	Ti	予备热处理
38CrMoAlA	0.37	1.49	0.21	1.06	—	—	调质
18CrMnTi	0.22	1.10	—	—	0.89	0.097	正火
20Cr	0.22	0.82	—	—	—	—	正火
40Cr	0.39	0.96	—	—	—	—	调质

1. 氮化工艺参数:

加热电流2.5~5安培，电流密度1.0~

2.0毫安/厘米²，极间电压560~600伏，采用直通氨气，气压2.5~5托，辉光层厚3~6毫米。

温度用埋入热电偶测定，仪表自动控制温精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

2. 试验规范:

确定氮化温度试验，选用525、550、575和600℃四个温度，保温时间一律为6小时。

确定保温时间试验，上述试验选定550℃为常用氮化温度后，进行12、24和36小时不同保温时间的试验。

3. 试样检查项目:

测定试样表面及沿表面下层深各层的维氏硬度，测定维氏硬度负荷一律用10公斤，

同时检查氮化层的脆性。用维氏硬度值沿层深的变化，确定氮化层深，同时用金相法进行校对。

4. 试验结果:

从表二和图二试验结果可看到，四种材料经过520~550℃6小时离子氮化后可得到较高的表面硬度。经过550℃6小时离子氮化后，四种材料氮化深度都是0.45~0.5毫米，表面硬度以38CrMoAlA和18CrMnTi钢最高，硬度分别达到 $H_{V_{10}}1115$ (Rc 70)和 $H_{V_{10}}847$ (Rc 64.5)，20Cr钢表面硬度达到 $H_{V_{10}}655$ (Rc 57.5)，40Cr钢表面硬度达到 $H_{V_{10}}610$ (Rc 55.5)。

表二、各种材料试样离子氮化后的维氏硬度和氮化层深

离子氮化温度与时间	项 目	38CrMoAlA	18CrMnTi	20Cr	40Cr
525℃ 6小时	表面硬度 ($H_{V_{10}}$)	989	814	716	504
	表面下0.05毫米处硬度	880	740	620	445
	表面下0.10毫米处硬度	635	628	548	389
	氮化层深 (毫米)	0.35	0.45	0.40	0.45
550℃ 6小时	表面硬度 ($H_{V_{10}}$)	1114.5	847	655	610
	表面下0.05毫米处硬度	815	760	570	460
	表面下0.10毫米处硬度	711	670	510	423
	氮化层深 (毫米)	0.45	0.50	0.50	0.45
575℃ 6小时	表面硬度 ($H_{V_{10}}$)	895	673	548	442
	表面下0.05毫米处硬度	800	625	520	390
	表面下0.10毫米处硬度	726	589	480	380
	氮化层深 (毫米)	0.40	0.45	0.50	0.40
600℃ 6小时	表面硬度 ($H_{V_{10}}$)	776	450	443	406
	表面下0.05毫米处硬度	640	350	325	330
	表面下0.10毫米处硬度	580	338	310	310
	氮化层深 (毫米)	0.45	0.55	0.50	0.40

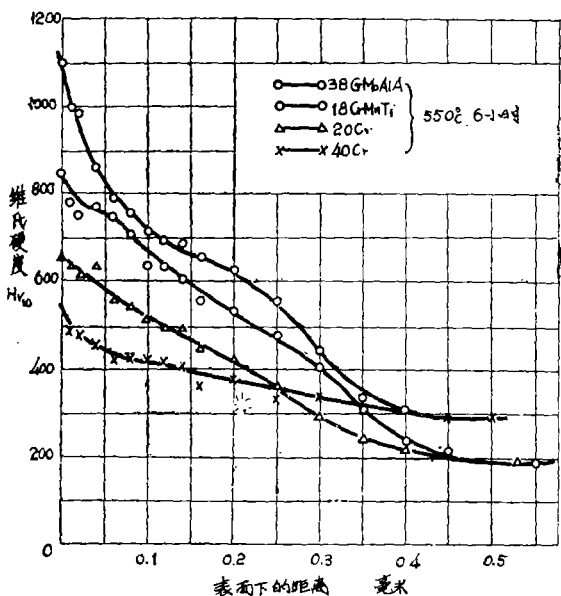
延长离子氮化保温时间，可以增加氮化深度，但是最主要的作用是增加了氮原子向工件内部扩散。从表三和图三可以明显看到，延长保温时间使硬度梯度减小，特别是

保温时间36小时以后，在硬度曲线上还出现一个硬度突起峰。

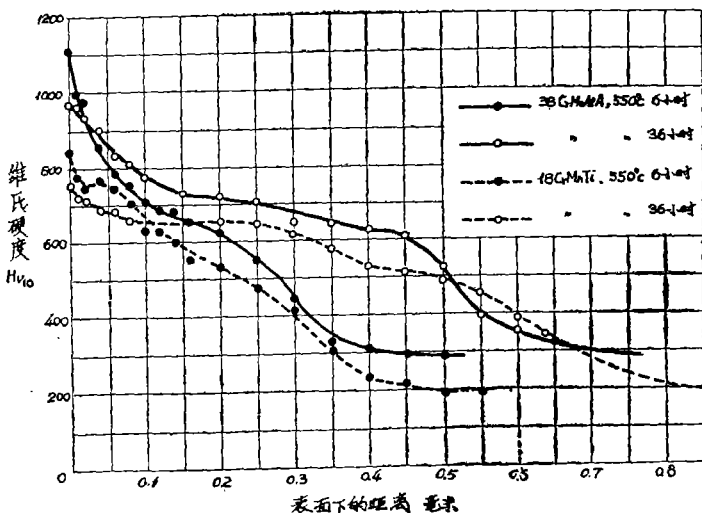
比较所试验的四种材料，可以认为18CrMnTi钢是一种比较好的辉光离子氮化

表三、离子氮化不同保温时间试验结果

钢号	保温时间 (小时)	表面硬度 Hv_{10}	0.1mm 处硬度 Hv_{10}	氮化层深 (mm)
38 CrMoAlA	1	724	378	0.16
	6	1114.5	711	0.45
	12	1092	847	0.50
	24	1097	850	0.60
	36	970	772	0.70
18 CrMnTi	1	800	355	0.20
	6	847	670	0.50
	12	867	696	0.55
	24	770	690	0.68
	36	755	665	0.83



图二、四种材料离子氮化硬度梯度曲线



图三、38 CrMoAlA 18 CrMnTi 钢离子氮化硬度梯度曲线

用钢，它具有比 38 CrMoAlA 钢更快的离子氮化渗入速度，氮化层较深而硬度梯度较小，这可能是由于 18 CrMnTi 钢中含有钛和较低的碳量所致。

因此可望 18 CrMnTi 钢用离子氮化来代替渗碳，对提高齿轮耐磨性和接触疲劳强度，减少变形简化工艺有重大意义。

另外，我们还试验了铸铁和高速钢的离子氮化，都有明显效果。还初步试验了钛合金的离子氮化，也有效果，TC₄ 合金 85 C

3.5 小时离子氮化后，表面硬度可达 Hv_{100x} 772(Rc62)，氮化层深 0.04 毫米左右。

四、辉光离子氮化生产试验

1. 操作方法

① 清洗检查：工件用汽油仔细清洗，去掉锈污、油迹和铁屑，并晾干后，可准备装炉。然后用兆欧表检查阴极间绝缘度应为

无限大，阴极与炉底座间应大于 $2 M\Omega$ 。

② 工件装炉：根据工件特点，确定选用吊挂或平放装夹方式，并决定采用内阳极或者外壳阳极。装炉时必须慎重考虑工件温度均匀性和防止工件局部打弧。工件装炉后，应将真空罩对正平稳地罩好。

③ 抽真空高压清理：开泵抽真空，当真空度达到 $3 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-2}$ 千，可给脉动直流电起辉和清理工件表面。此时电压很高，可达 $800 \sim 1000$ 伏，电流很小。到辉光基本稳定，打弧停止后，可缓慢升温。

④ 通氨气加热升温：正确地调节氨进气量、抽气碟阀和电压值，保持电压在 $500 \sim 750$ 伏，控制气压较低 ($0.5 \sim 1$ 千) 情况下，逐步升温。当工件温度达到 400°C 以上，应改用平滑直流电源。

⑤ 调整电流保温：保持辉光层厚为 $3 \sim 6$ 毫米，通过调整气压，选定合适的电流密度 (一般用 $0.5 \sim 2$ 毫安/厘米²)，并调节比较信号值 (即反馈量)，使温度控制波动达最小。

⑥ 冷却：保温完成后，可快冷或炉内缓冷。由于炉子都有少量漏气，并且氨气也不一定很纯，一般都先停氨气，再停高压，后关碟阀和真空泵。冷却水在停泵后还应继续冷却一段时间。

2. 工艺参数的确定

辉光离子氮化的工艺参数主要是氮化温度和保温时间。为了加热到离子氮化所需要的温度，保证氮化层质量以及保证辉光放电的稳定进行，对真空度、气源、辉光电流和电压等参数，也必须正确控制。

离子氮化温度和保温时间，根据工件材料和氮化硬度深度要求来确定。一般对 38CrMoAlA 钢选用较高的氮化温度 $550 \sim 570^\circ\text{C}$ ，对于 40Cr 钢选用较低的氮化温度，在 $500 \sim 520^\circ\text{C}$ 较好，对 18CrMnTi 和 20Cr 钢选用 $520 \sim 550^\circ\text{C}$ 较好。一般要求氮化层深 $0.4 \sim 0.5$ 毫米，选用保温时间为 $6 \sim 8$ 小

时。如果要求氮化层硬度梯度小些，可适当延长保温时间。

真空度的高低表示真空室内残存的空气或漏入空气的数量，由于空气中的氧对氮化是有害元素，因此真空度不高是不利的。但是要求真空度过高，必然设备更为复杂，实验证明真空度对氮化质量影响，还不十分明显。因此一般控制通氨前，真空室的预真空度为 $3 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-2}$ 千。

离子氮化气源，我们一般采用经过干燥的液氨，对于细长零件和装炉量较大时，采用经过热分解的氨气。为了控制氮化表层成份和厚度，可以采用一定比例的氮和氢混合气。气体压力在 $1 \sim 10$ 千范围内变化，对氮化层质量影响不大，而气压对电流密度有直接影响，根据升温 and 保温要求，电流密度也不同，所以气压也是个变值。我们是控制一定的辉光层厚度，用同时调节气体流量和抽气速率来实现。

离子氮化的电流密度，主要是根据氮化温度高低来选择。资料介绍，电源密度在 $0.5 \sim 20$ 毫安/厘米² 变化时，对氮化层质量没有明显影响。在升温阶段电流密度增加，升温速度加快，在保温阶段，电流密度大小影响温度高低。一般氮化温度 $500 \sim 550^\circ\text{C}$ ，用 $0.5 \sim 3$ 毫安/厘米² 的电流密度已足够。电流密度也不是个固定值，它取决于气压和电压的变化，为了使控温时温度变化幅度小些，操作时还需要选择最佳电流密度值。

离子氮化时辉光电压不是固定的参数，它与电流密度、气压、工件温度和阴阳极间距等有关。在其它参数不变情况下，电压升高电流密度增加，气压增加电压下降；工件温度升高时为了维持电流密度不变也需要增高电压；阴阳极间距增大电压稍微增高。在操作时，往往是同时调节辉光电压和气压，以满足一定温度的要求。在离子氮化保温阶段常用辉光电压为 $500 \sim 750$ 伏。

阳极的布置：北京机床所试验认为阴阳极间距以 $30 \sim 70$ 毫米为合适。我们实践认为

这种影响不大，为了改善温度均匀性可设辅助阳极。如细长内孔，当 $L/d > 8$ 时，一般应加辅助内孔阳极。对一般工件我们都采用真空室内壁做阳极（即外阳极）或真空室内设通用大阳极。

3. 生产试验

在进行零件辉光离子氮化时，由于被处理零件的材料、尺寸和形状不同，装炉量不同，所采用的工艺参数也不完全相同。正确地装夹工件和严格地设置护隙，对保证温度均匀性和防止打弧是极为重要的。

在进行单个零件处理时是比较容易掌握好的。在一炉同时处理很多零件时，必须防止不同材料、尺寸和形状相差悬殊的零件同炉处理。由于辉光离子氮化温度均匀性，取决于工件表面电流密度的均匀性和各工件散热条件的差异，所以，对工件上小孔、小沟槽应尽量堵塞，造成工件尺寸形状匀称，防止辉光集中。炉内各工件位置应保持与阳极等距，并保持工件相互间大致相同的热辐射条件，此外，应力求采用较低的气压和较小的气体流量，并适当调整阴阳极间距或设置辅助阳极与辅助阴极，以及采用缓慢升温，对保证温度均匀性是很重要的。

正确地调节供给炉内稳定流量的氨气（或氮、氢气）量，可以使工件获得较大的辉光加热功率，并保持阴阳极间较低的电压和较多的电流值。在实际操作时，通过调整气压和电压，获得适当的电流密度，以保证合适的升温速度和使保温时温度波动幅度最小。

我们的实践说明，普通热处理工人，经过短时间熟悉情况以后，是完全能够掌握不同零件的辉光离子氮化工作的。

我们在30仟瓦辉光离子氮化炉中处理的零件，从小到厚度为0.6毫米的照相机小零件，到直径455毫米的大齿轮，长轴零件从直径3毫米细长导轨，到长度865毫米的蜗杆，都收到了良好效果。特点是变形极小，

硬度高，脆性小。一年来我们在工艺试验和生产试验中，从未发现超过1级的表面脆性。由于变形小，很多精密零件可以大大减少精磨留量，甚至勿需留量，大大简化了精密零件加工工艺。原来18CrMnTi和20Cr钢渗碳零件，由于采用了离子氮化，可以大大减少变形，并显著提高硬度和耐磨性，提高产品质量，简化了加工工艺。

下面举几个典型零件为例：

① 园柱导轨（图四），40Cr钢， $\phi 3 \times 66$ ， $L/d = 22$ ，氮化前为退火状态。

经过550℃2小时吊挂离子氮化后，表面硬度 $Hv_{10} 446$ (Rc46)，直径未变，全长弯曲量0.005毫米。

② 精密滚珠丝杠（图五），38CrMoA1A钢， $\phi 20 \times 413$ ， $L/d = 20$ ，氮化前为调质状态。

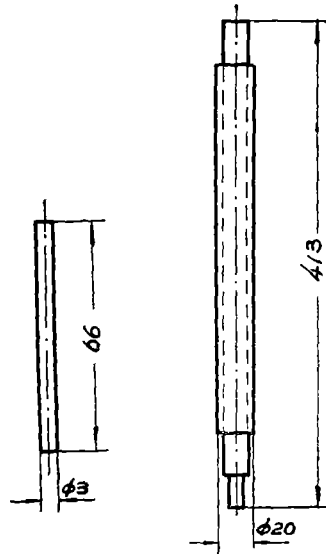


图 四

图 五

经过550℃6小时吊挂离子氮化后，表面硬度 $Hv_{10} 933 \sim 936$ (Rc 67.4)、氮化层深0.44~0.45毫米，上下均匀性好。全长弯曲量0.01~0.015毫米，直径增大0.005~0.01毫米，螺距总累积伸长0.025~0.03毫米。

③ 大齿轮（图六），18CrMnTi钢，

$\phi 455 \times 25$, 氮化前为正火状态。

经过 550°C 6 小时离子氮化后, 表面硬度 $H_{V_{10}} 830$ ($Rc 64$), 氮化层深 0.4 毫米, 轴承滚道平行度变化 0.01 毫米, 内径增大 0.05~0.10 毫米。

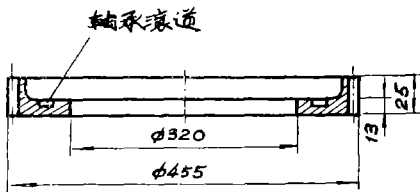


图 六

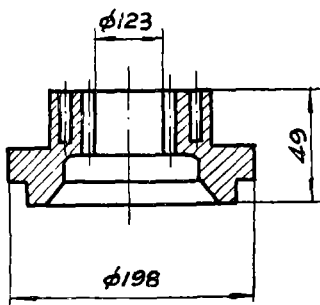


图 七

④ 内齿轮 (图七), 38CrMoAlA 钢, 内齿面局部氮化、氮化前为调质状态。

经过 550°C 4 小时离子氮化后, 表面硬度 $H_{V_{10}} 1026 \sim 1080$ (大于 $Rc 70$), 氮化层深 0.27 毫米, 其余外表面全部屏蔽, 保留原始调质硬度。

⑤ 照像机抓片爪 (图八), 40Cr 钢, $\phi 2.7$ 轴局部氮化, 氮化前为退火状态。

经过 520°C , 3 小时离子氮化后, 表面硬度 $H_{V_{10}} 753$ ($Rc 61.5$), 氮化层深 0.17 毫米, 其余表面屏蔽, 不硬。氮化后 $\phi 2.7$ 直径增大 0.002~0.004 毫米。

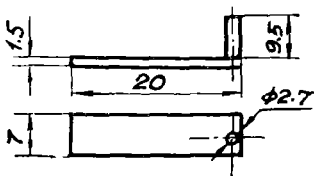


图 八

五、辉光离子氮化的应用范围

由于离子氮化后工件变形小, 表面脆性小以及材料适用范围较广等特点, 使离子氮化法在生产中的应用, 比气体氮化广得多。钢铁工件经过离子氮化处理, 可以在变形极小的情况下, 大大提高工件的耐磨性和使用寿命。经过离子氮化处理的工件, 在绝大多数情况下不必再进行加工, 大大改善了精密机械零件的工艺性能。

离子氮化处理零件的材料, 包括绝大部分钢和铸铁, 一些非铁合金 (如钛合金) 也可进行离子氮化。

离子氮化法适于处理各种结构零件, 包括挤压机螺杆和缸体、蜗杆、齿轮、枪炮管、活缸套、活塞杆、主轴、凸轮、曲轴和销子等。

离子氮化法也广泛用于处理各种工具, 包括锻模、轧辊、挤压工具、冲模、锻模、压铸模、铣刀、铰刀和锯条等

如: 武汉第四机床厂, 离子氮化处理万能工具铣床齿轮 ($\phi 100 \times 222$ 毫米), 材料为 20Cr 钢, 原工艺为渗碳淬火, 变形量很大, 精度无法保证。但经 $520 \sim 560^{\circ}\text{C}$ 10 小时离子氮化后, 表面硬度为 $H_{RC} 51.3 \sim 57.4$, 氮化层深度 0.4~0.5 毫米, 公差线平均膨胀量 0.003~0.01 毫米, 内孔收缩量约为 0.008 毫米, 变形很小, 解决了他们生产中长期未解决的齿轮变形的关键问题。

我们对 $\phi 455 \times 25$ 毫米的大齿轮 (图六)、材料为 18CrMnTi 钢, 改变渗碳淬火工艺, 采用离子氮化新工艺, 大大减少了变形, 成功地用于生产。原渗碳淬火后, 轴承滚道变形 1 毫米以上, 而离子氮化后, 变形只有 0.01 毫米。并且提高了硬度, 改善了质量。

用辉光离子氮化法进行局部氮化, 由于屏蔽方法简单可靠, 也得到了广泛应用。如: 北京机床所, 离子氮化处理床头箱齿

轮, 材料为 40 Cr 钢, 原工艺为高频淬火, 内孔缩小量为 0.04~0.05 毫米, 改用 520 ℃ 8 小时辉光离子氮化处理, 内孔屏蔽保护, 氮化后内孔缩小量极小, 仅为 0~0.01 毫米, 解决了齿轮高频淬火内孔变形问题。另外局部氮化可以简化零件机械加工工艺, 解决很多关键技术问题。

北京工业大学与北京量具刀具厂合作, 对高速钢沟槽铣刀进行了大量的离子氮化试验。试验结果: 正常淬火回火的高速钢铣刀, 经过 540 ℃ 30 分钟离子氮化处理, 处理后刃磨刀具前面, 磨去 0.2 毫米, 使用寿命平均可提高 2 倍以上, 并且经过几次刃磨后仍能保持相同的使用寿命。

但是, 对于小孔小沟槽需要表面硬化的零件, 用离子氮化比较难于处理。对于极薄壁的环形和筒形零件, 离子氮化变形较大, 需要在工艺上采取必要措施。

总之, 根据国内外辉光离子氮化应用的现状, 可以认为它有广泛的应用前途。我们在光学精密机械仪器零件上推广应用辉光离子氮化法, 取得了很好的效果, 解决了不少关键技术问题。我们认为这是一种适合于精密零件热处理的一种少变形工艺, 也是提高普通零件耐磨性和使用寿命的一种简单工艺, 值得大力推广。

至于在接触应力较大的重负荷下工作的零件, 可望选定合适的材料, 用辉光离子氮化代替渗碳和氰化, 不仅可以提高零件疲劳寿命, 还可以大大减少变形, 简化工艺, 提高生产率, 是很值得重视的。

为了充分发挥辉光离子氮化的作用, 需要正确地安排工件的加工工艺流程。考虑工件的表面, 在离子氮化时渗入氮而发生微量膨胀 (膨胀量一般不超过 0.01~0.02 毫米), 对于二级精度以下的多数零件都可将离子氮化工序放在最后一道切削加工工序之后, 可以省去再加工; 对于更高精度的精磨和精研零件, 应将离子氮化放在粗磨之后, 并应考虑离子氮化的膨胀量, 而只留极少的精磨

量。为了使工件在离子氮化时的变形保持在最小范围内, 最好选用工件材料为调质状态, 调质的回火温度应高于 600 ℃, 在离子氮化前, 工件还应进行充分消除应力回火 (一般为 600 ℃ 4 小时炉冷)。

六、总 结

1. 辉光离子氮化工艺在机械制造各行业中都有广泛应用的前途, 特别是在精密机械仪器制造中, 推广这项新工艺将会大大提高精密零件质量和简化精密零件的制造工艺。在机械制造业中推广这项新工艺, 将会使机械零件热处理的水平向前提高一步, 对简化工艺, 改善工人劳动条件, 提高产品质量, 突破技术关键都有重要意义。

辉光放电加热技术将会在热处理行业中, 逐渐被人们认识, 成为一种新的加热方式被人们推广使用。

2. 通过辉光离子氮化初步工艺试验和生产试验, 可以证明辉光离子氮化工艺有极大的优越性, 它的突出特点是工件氮化变形小, 氮化层脆性小, 特别适合于各种材料精密零件的热处理或用它来提高普通零件的耐磨性和使用寿命。

3. 各种钢铁材料, 几乎都可以进行辉光离子氮化, 根据零件工作条件可选择经过处理能达到要求的合适牌号的材料。对精密机械仪器零件辉光离子氮化, 38 CrMoAlA 钢和 18 CrMnTi 钢是很合适的材料, 38 CrMoAlA 钢可用于制造较重负荷的高精度精密轴类、轴承和齿轮等零件, 18 CrMnTi 钢可用于制造各种精密零件。

4. 为充分发挥辉光离子氮化的作用, 需要深入研究各个工艺参数对氮化质量的影响, 以及对氮化工件性能的影响。为了推广这项新工艺, 除需试制大功率辉光离子氮化炉以外, 重点应放在逐步完善和改进辉光离子氮化炉测温系统, 以及完善辉光离子氮化工艺。