

369101

成都工學院圖書館

基本館藏

电真空器件制造工艺学

第二分册

Н. А. 布利斯庫諾夫 著
〔苏联〕 И. Я. 卡美涅茨基



國防工業出版社

21-
024

电真空器件制造工艺学

第二分册

[苏联] H. A. 布利斯庫諾夫 著
И. Я. 卡美涅茨基

甲 辰 譯

陈克强校

国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本分册叙述了現代电子管的栅极、阳极和外壳的制造工艺。介紹了零件的結構，指出了它們的主要加工規範，并且讲述了各种工艺装备。

本书可作为电真空专业的工程技术人员及相应专业高等学校“电真空器件制造工艺学”課程的参考书。

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ I
〔苏联〕 Н. А. Бляскунов И. Я. Каменецкий
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1961

电真空器件制造工艺学

第 二 分 册

甲 辰 譯

陈 克 强 校

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 6 $\frac{9}{16}$ 167千字

1965年5月第一版 1965年5月第一次印刷 印数：0,001—2,900册

統一书号：15034·903 定价：(科六) 1.00元

目 录

第一章 电子管栅极的制造工艺	5
§ 1-1 电子管栅极的结构和材料	5
§ 1-2 电子管栅极材料的清洗和退火	13
§ 1-3 电子管栅极的绕制	18
§ 1-4 小功率电子管栅极的各种涂复工艺	38
§ 1-5 振荡管栅极的涂复工艺	48
§ 1-6 栅极在自动机上绕制后的加工	52
§ 1-7 栅极的矯正、撑棚、成形和檢驗	56
§ 1-8 制造和加工栅极的自动流水綫	59
第二章 阳极和其它金属零件的制造工艺	64
§ 2-1 阳极的分类及对阳极制造材料的要求	64
§ 2-2 电子管阳极制造材料的机械加工	67
§ 2-3 制造电子管阳极用的冲床和冲模	77
§ 2-4 电子管内部其它金属零件的制造工艺	86
§ 2-5 电子管零件机械加工用润滑油及其制备和檢驗	100
§ 2-6 阳极和电子管内部其它金属零件的化学去油和电化学去油	109
§ 2-7 阳极和电子管内部其它金属零件的化学腐蝕 和电化学腐蝕	114
§ 2-8 阳极和电子管内部其它金属零件的机械清洁方法 和綜合清洁方法	121
§ 2-9 不采用有机溶剂的新的经济的电子管零件清洗方法	129
§ 2-10 阳极和其它金属零件的表面涂复方法	132
§ 2-11 管内金属零件的退火及檢驗	143
§ 2-12 鈦阳极和石墨阳极的加工工艺过程	149
第三章 电子管外壳的制造	151
§ 3-1 电子管外壳材料的用途、分类和性质	151
§ 3-2 泡壳的制造	157
§ 3-3 泡壳的切割和接排气管	166

§ 3-4	金属管壳和玻璃泡壳的净化与退火	171
§ 3-5	电子管外壳各种涂层的涂复方法	174
§ 3-6	电子管芯柱的特点及其熔封工艺	181
§ 3-7	电子管芯柱引线的制造和加工	183
§ 3-8	梳形芯柱的制造	189
§ 3-9	接收-放大管用平板形芯柱的制造	193
§ 3-10	振荡管用平板形、盘形和同轴形芯柱的制造	198
附录 I	根据金属在机械加工时所用的润滑剂的不同来选择 清洗工艺过程	206
附录 II	各种清洗工艺过程的方案	208
参考文献		210

第一章 电子管栅极的制造工艺

§1-1 电子管栅极的结构和材料

电子管中具有网状结构的那个电极叫作栅极。按照主要用途的不同，栅极可分为●《控制栅极》、《讯号栅极》、《振荡栅极》、《屏栅极》、《抑制栅极》等。

按照栅极与阴极之间的距离的不同，栅极可分为《第一栅极》、《第二栅极》、《第三栅极》等。

最常用的栅极是：

1) 控制栅极——这个电极的主要用途是对电子流进行静电控制。

2) 屏栅极——这个电极的主要用途是防止任意两个电极之间的相互静电作用。

3) 抑制栅极——这个电极的主要用途是阻止二次电子由某一个电极流向另一个电极〔文献1〕。

在电子管工作中，栅极（特别是控制栅极）的作用是非常重要的。电子管内一系列复杂的物理现象，例如电子流的控制和其它作用等，都和栅极有密切关系。

这些物理现象有：电流分配、屏蔽效应、栅极热电流、离子流和漏电电流、二次电子现象——小岛效应、栅-阴极间接触电位差等。

在最初的电子管结构中，控制栅极做得好象一个金属网，这个网由细金属丝编织而成。在大多数现代最常用的各种电子管（工作于低频的电子管）结构中，控制栅极都是用较疏或较密的丝

● 这些定义都符合苏联《电真空器件(分类、名称、定义)》国家标准(ГОСТ)的规定。

繞成螺旋管形 (图 1-1 *a*)，它們具有各种不同形状的横断面 (图 1-1 *б*)。

随着小型和超小型电子管，以及工作于超短波波段內的具有短圆柱形阴极的振荡管的发展，在某些电子管内出现了筒状栅极 (图 1-1 *в*) 和冲制栅极 (图 1-1 *г*)。随着分米波段平板形三极管 (灯塔管和金属陶瓷管) 的发展，要求在这类电子管中使用细网制成的栅极 (图 1-1 *з*) 或《蜂窝状栅极》(参看表 1-9)。中等功率和大功率振荡管栅极结构的例子示于图 1-1 *е*。

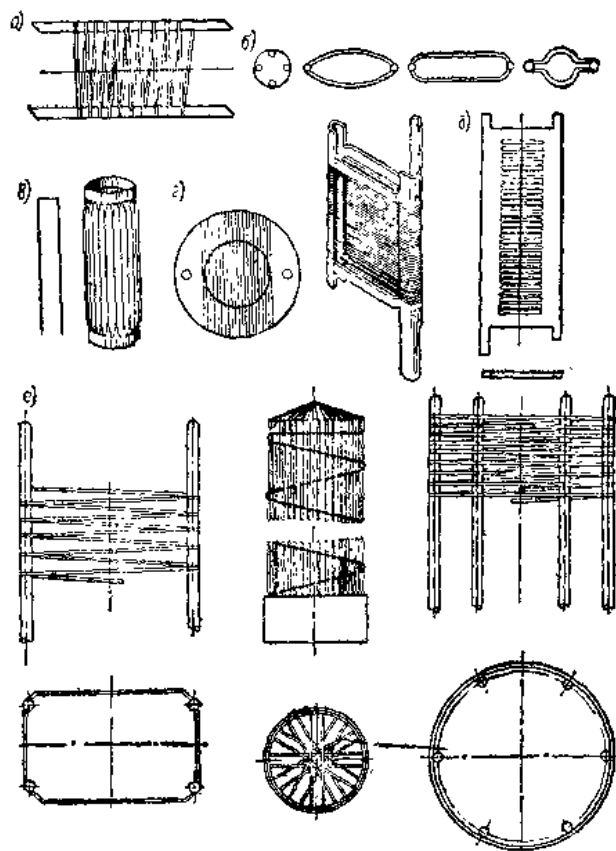


图1-1 电子管的栅极：

a—絲繞螺旋管形栅极；*б*—栅极的横断面形状；*в*—筒状栅极；*г*—細网制成的栅极；*д*—冲制栅极；*е*—中等功率和大功率振荡管的栅极结构。

各种类型电子管所采用的栅极结构是很不相同的。因此，我們不可能把各种制造工艺都讲一遍，下面只叙述最常用的几种栅极的制造工艺。

电子管的栅极主要包括工作部分（它是繞絲或綫网）和边杆部分（栅极的工作部分就固定在它上面）。

在某些情况下，在栅极的边杆上装有附加零件，用来将栅极和芯柱的引綫●连接起来，或者装有屏蔽片，用来屏蔽从伸出栅极以外的阴极部分放射出来的电子流（图 1-2 a）；或者装有散热片（图 1-2 b），用来把那些由栅极絲发出的热量傳导出去，这些热量是由栅极电流和栅极旁边其它电极的輻射能所产生的。为了减小由栅絲表面产生的热电子发射，装上散热片是非常必要的。

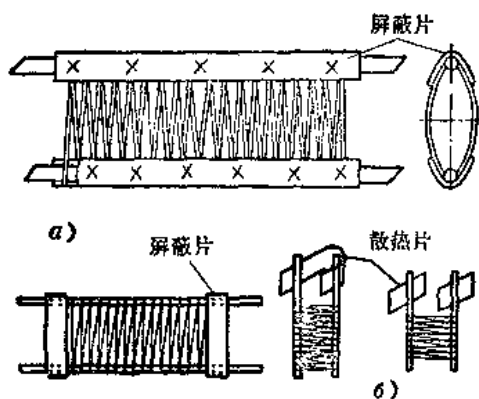


图1-2 装在栅极上的附件，

a—带屏蔽片的栅极；b—带散热片的栅极。

由于对栅极的机械性能、热性能和电子发射性能等的要求很高，所以对制造电子管栅极所用的材料，有比较大的限制。在大部分电子管中，栅极的边杆部分和工作部分（繞絲、綫网等）是由不同的材料制成的。

● 对接收-放大管来说，不必装这个零件，因为这类电子管的栅极通常用它的一个边杆与芯柱引綫直接相连。

栅极的直径、节距、栅极结构和栅极与电子管其它各电极之间的位置，可以决定电子管的特性和许多电气参量。

因此，对栅极绕丝所用的材料提出了一系列的要求：

1) 热稳定性好，当电子管工作时，在栅极发热的情況下，也能保持不变形；

2) 电子发射能力最小；

3) 导热性好；

4) 易于去气；

5) 阴极溅射小；

6) 蒸汽压低。

为了制造高质量的栅极，保证丝料满足这些要求是很重要的。

当采用的丝料截面不是严格的圆形时，栅极各圈之间的间隙将是不均匀的，对于节距很小的栅极以及束射管中的栅极，这是不允许的。

钼和钨能够很好地满足上述各项要求。还应当指出，在 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 时，它们的机械强度很高，并且导热性很好。应用金刚石模具制造的钼丝和在拉丝时进行相应的检验，可以保证栅丝直径有严格的公差，并且能保证规定的截面形状。

在大量生产接收-放大管和小功率振荡管时，最常用的栅丝材料是钼。如上所述，钼具有良好的机械性能。这些性能使我们能够用直径为25微米或者更粗一些的钼丝来制造栅极，同时还能保证栅极与阴极间的距离在100微米左右。

钼的缺点是易于氧化，并且价格昂贵。因此常用一些合金来代替钼，这些合金主要分为两类：

1) 具有不同成分比例的镍钼铁合金。这类合金具有很高的机械强度，但是导热性差。

- 近来常常用钨作为栅丝材料，因为用钨丝作好了的栅极就不需要再进行一系列的加工了（撑栅、矯正）。

2) 含 4.2%~5.5% 錳的鎳錳合金 (例如, HMLI-5 就是含有上述錳量的鎳錳合金)。这种合金比鉬便宜, 但是导热性差, 并且在較高的栅极工作溫度下, 它的强度也不高。

这种合金能减低栅极热电子发射, 因为它能和鉬形成逸出功很大的物质。另外, 从表 1-1 中可以看出, 鉬具有很多优点。

表 1-1 各种栅絲材料的特性、价格和鉬比較 (百分数)

特 性	鉬	合 金	
		22% 鎳、20% 鉄、58% 鉬	95% 鎳、5% 錳
最大拉伸强度			
在 20°C 时	100	50	60
在 800°C 时	100	60	30
导热性	100	11	26
价格	100	35	10

应该指出, 对于栅絲材料的一般要求, 随着栅极截面形状的不同, 而稍有不同。

对于具有氧化物阴极的电子管來說, 在选择繞制栅极的材料时, 通常不仅要根据对栅极所提出的机械性能的要求, 并且要考虑到能保证一定的栅极表面性能, 例如沒有热电子发射, 或者有一定的接触电位差 (控制栅极与阴极之間), 这个电位差是为了获得給定的阳极电流和栅流值所必需的。

必須指出, 因为控制栅极与阴极之間 的接触电位 U_{gk} 可按下式求出:

$$U_{gk} = \varphi_k - \varphi_g,$$

式中 φ_k ——阴极表面的逸出功;

φ_g ——栅极表面的逸出功,

所以, 为了减小栅极的电子流, 必須使 U_{gk} 尽可能地小。因此, 为了减小栅极热电子发射和减小栅极电流, 栅极表面的逸出功 φ_g 应尽可能地大。

为了减小栅极的热电子发射,通常把钼丝镀一薄层金,或者银钼合金,或者金钼合金等,或者不用钼丝而用其它材料:镍锰合金 (НМЛ-5)、镍铬合金、镍钼合金 (ННМО-25)●、镍钨合金 (ННВО-25)●。最广泛应用的是钼丝镀金,因为从氧化物阴极表面蒸发出来的钼,容易与金形成固溶体,此时,在很长的一段时间(有时达 1000 小时)内,镀金栅极表面的氧化物层,比由钼、钨、镍等制造的栅极表面的氧化物层,具有更大的逸出功 [文献 3]。

将钼镀以各种金属●和合金,还可以防止栅丝表面产生氧化钼。氧化钼在蒸发时对氧化物阴极的发射有不良影响。

对电子管栅极的边杆材料,和对栅丝材料一样,也有一系列的要求,其中主要的是机械强度和相当良好的导热性能。

现在常用紫铜来制造接收-放大管和小功率振荡管的控制(通常是第一)栅极的边杆,因为紫铜具有良好的导热性能,所以减小了栅丝表面的热电子发射。这类电子管的屏栅极边杆和抑制栅极边杆是用牌号为 H-1 的一般工业用的纯镍制造的。当对管芯的机械强度和热稳定性要求高时,则用含有 0.4% 到 1% 铬的紫铜●来制造接收-放大管和小功率振荡管的栅极边杆,这种材料的弹性较好;或者用牌号为 HML-5 含有 4.2% 到 5.5% 锰的镍锰合金来制造。在镍里加入锰以后,可以改善边杆的机械性能——提高硬度和抗拉强度,但是其导电性能和导热性能均有所降低。

对于第一(控制)栅极来说,通常要求能把大量的热传导出去,所以,在上述这类电子管中,也有用银铜合金(含 Ag 2%)来作边杆材料的。

-
- 合金 HНМО-25 含 Ni 75% 和 Mo 25%。
 - 合金 HНВО-25 含 Ni 75% 和 W 25%。
 - 在大量生产电子管时,广泛使用钼丝镀镍。
 - 紫铜的导电性能和导热性能都很好,但是机械强度小,尤其是在高温条件下。有时将紫铜作的边杆镀镍,以防止氧化铜落到氧化物阴极的表面上,这样才不致对阴极发射能力产生不良的影响。

用鍍有一層紫銅或者銀的鐵絲來作柵極邊杆，效果也并不壞〔文獻 5〕。

含鉻的銅合金具有良好的導熱性能，並且，如上所述，具有比紫銅高的機械強度，但是，由於在這種合金絲的每一段里所含鉻的成分很不均勻，所以在利用鉻銅合金來製造柵極邊杆時，在工藝上是有一些困難的。在紫銅里加入銀，可以提高它的機械性能，但是會降低它的導電性能，同時也會使它的導熱性能降低。這樣，我們就不得不選用其它沒有上述缺點的材。目前製造柵極邊杆多採用含銀 8% 的銅合金和雙金屬絲 КУНИ-1 及 КУНИ-10，雙金屬絲是將 НИМО-10 牌號的合金條壓入紫銅管內，然後再進行機械的壓力加工而製成的。

КУНИ-1 及 КУНИ-10 牌號的金屬絲，其成分（大致的）如下：

- | | |
|------------|----------------------------|
| 1. КУНИ-1 | Cu 60%~64% 和 Ni 36%~40% ●。 |
| 2. КУНИ-10 | Cu 73.5% 和 Ni 26.5%。 |

這些材料的試驗結果證明，其強度極限，特別是在高溫條件下，遠遠超過鉻銅合金的強度極限。這些材料的導電性能和導熱性能比紫銅小 $\frac{1}{3}$ ，但是比鎳和鎳合金則大 3 倍。如能正確選擇雙金屬線的退火規範，則製造柵極的過程並不是很困難的。

在中等功率振蕩管中，通常都採用鉍制的柵極柵絲和邊杆。此時，鉍常常鍍以鎳，有時還塗一層金屬或者某種氧化物，以提高其輻射系數和增大逸出功。對於大功率振蕩管，因為它們的工作溫度非常高，所以要用鎢來製造柵絲和邊杆。有時還要用鉍來製造。為了減少柵極熱電子發射，鉍還可以進行碳化，就是把柵極放在二氧化碳氣或一氧化碳氣中加熱進行碳化〔文獻 4〕。

製造柵極所用的各種金屬和合金的主要性能列於表 1-2 和表 1-3。

● 如果含銅量少，則導電性能和導熱性能均變差。

表1-2 栅丝材料的主要的物理机械性能

材料名称	成分	比重 (克/厘米 ³)	导热率 (卡/厘米·秒·度)	弹性系数 (公斤/厘米 ²)	极限拉伸强度 (公斤/毫米 ²)		热膨胀系数 (β ·10 ⁻⁷)	电阻率 (微欧·厘米)
					原材料	退火后的材料		
镍铬合金	94.5~95.8%Ni 4.2~5.5%Mn	8.8	—	—	100	60	—	20.0
镍铬合金	80%Ni 20%Cr	8.36	0.034	22000	90	—	125	110.0
НММО-25	75%Ni 25%Mo	8.8	0.04	—	150	85	107	110.0
钼	Mo	10.3	0.35	32000	150	80	53.0	4.8
钨	W	19.3	0.48	35000	200	100	44.4	5.5
钽	Ta	16.6	0.13	19000	120	35	65	15.5

表1-3 栅极边杆材料的主要物理性能与温度的关系

材料名称	温度 °C	电阻率 (微欧·厘米)	电导率 (米/欧·毫米 ²)	导热率 (卡/厘米·秒·度)
银铜合金	400	5.7	17.6	0.70
	300	4.5	22.3	0.74
	200	3.9	25.6	0.70
	100	3.1	31.8	0.69
	20	2.4	41.0	0.70
КУНИ-1	400	10.1	9.92	0.37
	300	8.0	12.5	0.41
	200	6.4	15.8	0.43
	100	5.4	18.6	0.40
	20	2.8	35.3	0.60
紫铜	400	4.3	23.5	0.93
	300	3.6	28.0	0.93
	200	3.0	33.4	0.92
	100	2.7	45.0	0.96
	20	1.7	57.5	0.98
镀镍铜	400	4.4	22.8	0.90
	300	3.3	29.0	0.99
	200	2.8	25.4	0.97
	100	2.2	45.8	0.99
	20	1.7	56.3	0.95

(續)

材 料 名 称	溫 度 °C	电 阻 率 (微欧·厘米)	电 导 率 (米/欧·毫米 ²)	导 热 率 (卡/厘米·秒·度)
КУНМ-10	300	5.0	15.6	0.60
	200	4.1	20.0	0.62
	100	3.2	24.5	0.67
	20	2.6	31.2	0.65
路 青 銅	400	5.2	19.1	0.76
	300	4.9	20.4	0.68
	200	4.0	24.6	0.68
	100	3.5	29.0	0.62
	20	2.9	35.0	0.59
鎳H-1	400	27.8	3.60	0.14
	300	21.6	4.61	0.15
	200	16.6	6.01	0.16
	100	10.4	9.60	0.16
	20	8.5	11.8	—
杜 美 絲	400	50.0	2.00	0.079
	300	45.3	2.20	0.075
	200	41.2	2.42	0.066
	100	32.6	3.07	0.066
	20	26.2	3.80	0.065

§1-2 电子管栅极材料的清洗和退火

在生产中，当制造栅极所用的絲料或带料运来之后首先要仔细地清洗，除掉材料上可能附着的一切髒物，例如石墨潤滑剂或任何潤滑油，这些是机械加工（拉絲）后经常会附着在絲料表面上的髒物。

通常是用电化学法和加热法来清洗絲料。在讲述直热式阴极基金屬的加工方法时，已經談过了一些在碱溶液中进行絲料电化学腐蚀的方法〔文献9〕。除清洗以外，对于制造栅絲和边杆用的一切絲料，都要进行退火。在还原气体（氫气或成形气体）中退火，既可以清除表面的防护塗层（如在难熔金屬絲表面的石墨潤滑剂）、氧化物和髒物，又可以获得所需要的机械性能——极限拉伸强度和延伸率。

在还原气氛中进行表面净化，通常是没有什么困难的，可以

正常进行。但要获得必要的机械性能,必须严格保持一定的条件,并且在大多数情况下,对每一批材料都需要分别选择这些条件。

当丝料在氢气炉中退火时,有三个主要因素能影响它的机械性能,即退火温度、丝料加热时间、氢气的压力和温度。

在退火过程中,必须尽量使这些因素保持一定,因为这些因素的稳定程度可以影响丝材机械性能的均匀性。

1. 边杆材料的加工

边杆材料的清洗是在图 1-3 所示的设备上进行。

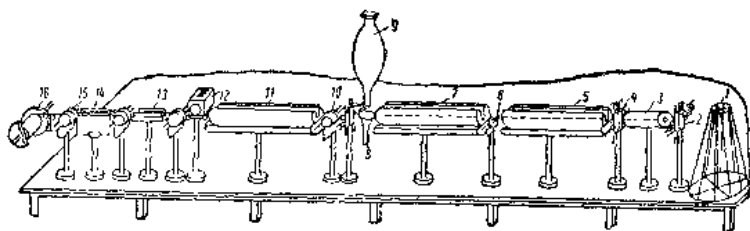


图1-3 栅极材料电化学清洗用的设备。

将欲清洗的边杆材料置于线卷架 1 上,然后经过导轮 2 进入炉 3。在炉中利用氧化作用将材料上的髒物(有机润滑油)除掉。

然后,材料通过导轮 4 进入电解槽 5,在此槽中于电流的作用下进行材料表面的电化学清洗。当清洗鎢和鉻銅合金丝时,所用的电解液是 20% 的氢氧化鉀或氢氧化鈉溶液。清洗鉬丝时,可用 50% (按体积比) 的硫酸溶液。清洗鎳或鎳合金丝时,可用 15% 的盐酸溶液。

如前所述[文献 9],在电解液中清洗的过程是在电流的作用下进行的,此时,在电解槽 5 的外壳上加正电位,而在被清洗的材料上加负电位。这样,可以使材料表面上的髒物松软和脱落(利用氢离子撞击),而材料本身并不会溶解。在材料表面上仍有电解液的残渣和松软的髒物存在,当然要把它们清除掉。为此,材料由电解槽 5 经导轮 6 到达盛有流动的热蒸馏水的槽 7。通过

槽 7 的清洗基本上可以除掉材料上的髒物和電解液，但是並不能保證把它們完全除去。要想完全除掉這些髒物，必須使材料通過裝在漏斗 8 上的棉塞，這個棉塞被由滴壺 9 滴出的中和液體所濕潤。如果用 15% 的鹽酸作為電解液，則在滴壺中盛的是 2% 的碳酸鈉溶液。當用 20% 的氫氧化鈉或氫氧化鉀溶液作為電解液時，則用 1% 的鹽酸溶液來作為電解液殘渣的中和溶液。

由於中和的結果，在材料表面上生成一種鹽，當邊杆材料通過由鎢鉬絲束作的《亂絲刷》10 和盛有流動蒸餾水的槽 11 時，這種鹽就可被擦洗掉。在絲料繞到繞綫輪 16 上之前，應先用毛毡 12 把材料擦淨，並在盛有酒精的小槽 13 內沖洗，然後在爐子 14 內烘乾，再用毛毡 15 擦淨。

最常用的邊杆材料清洗規範列於表 1-4 中。

表 1-4 電子管柵極邊杆用各種材料的清洗規範和電解液成分

材 料	絲料直徑 (毫米)	前進速度 (米/分)	電解液溫度 (°C)	電 解 液 成 分	電流種類
鎳	0.41 0.52 0.63~0.83 0.83~1.5	6~8 3~5 3~5 3~5	18~25	15% 的 HCl 溶液	直 流
鎳 鎂 合 金	0.4 0.5~0.6 0.8	6~8 3~5 3~5			
紫銅	0.41 0.6 1.0~1.2	6~8 3~5 3~5	50~60	20% 的 NaOH溶液	交 流
鋁	0.6	2~3		50% 的 H ₂ SO ₄ 溶液	
清洗槽內水的 溫度(°C)	>50				
烘干爐的溫度 (°C)	60~80				
腐蝕前氧化的 溫度(°C)	100~200				

為了將清洗後邊杆材料表面上的氧化物痕迹和腐蝕生成物完全除掉，以及為了獲得規定的機械性能，將邊杆材料放在氫氣或成形氣體中退火。通常邊杆材料是在三層式爐內退火，爐子的示

意图示于图 1-4。

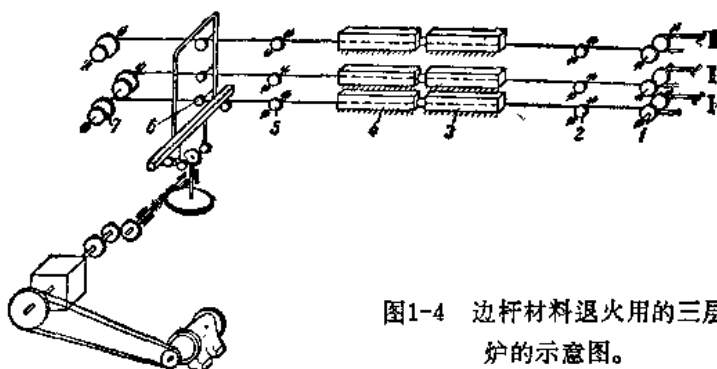


图1-4 边杆材料退火用的三层炉的示意图。

利用这种装置可以对不同尺寸（和不同材料）的边杆材料，在不同的炉子工作条件下，同时进行退火，这是因为每条线都可以独立工作的缘故。

带有边杆材料的线卷固定在专用架 1 上，材料经过导轮 2 送到炉子 3 的加热区，在这里进行退火。然后在冷却区 4 内冷却。冷却后的材料经过导轮 5 和排线轮 6 绕到绕线轮 7 上。

对各种边杆材料都有一定的机械性能要求，这是用相应的一套退火规范来保证的（见表 1-5）。

表1-5 电子管栅极材料的退火规范

材 料 名 称	直 径 (毫米)	直径公差 (毫米)	前进速度 (米/分)	温 度 (°C)	极限拉伸强度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)
钨钼合金	0.4	±0.010	5~10	550~700	不小于30	不小于18
钨钼铜	0.41	+0.015 -0.010	5~10	500~650	不小于25	不小于30
镍H-1	0.41	+0.015 -0.010	5~10	700~800	不小于46	不小于30

某些振荡管栅极所用的边杆不是圆形而是矩形截面的。这时，要把一定直径的圆截面线料压平，然后切割成一定的线段。对于这样制成的边杆要按与上述的边杆加工过程相似的步骤进行