电真空器件制造工艺学

中　册

尼·阿·布利斯庫諾夫編

人民教育出版社

电真空器件
制造工艺学

中　册

电真空器件制造工艺的一些特殊問題

尼·阿·布利斯庫諾夫編
清华大学电真空器件制造工艺教研組譯

5803

人民教育出版社

D023/16

本書系根据苏联专家尼·阿·布利斯庫諾夫(Н·А·Блискунов)同志在清华大学工作期間所編写的講义"电眞空器件制造工艺学"(Технология электровакуумных приборов)中册底稿譯出的。

本書分上、中、下三册出版。上册中講述电眞空器件用的材料及其加工方法。此中册中講述电眞空制造工艺的一些特殊問題，共分四章：第一章为眞空搭封；第二章为金屬和另件的焊接；第三章为金屬的釬焊和机械連接；第四章为另件的清洗和物理化学处理。

本書可作为高等学校电眞空器件专业工艺課程的主要教学参考書，亦可供科学研究人員、工程技术人員以及中等技术学校师生閱讀。

本書由清华大学电眞空器件制造工艺教研組譯出。参加譯校工作的有徐明星、迟宝义、陈克强、张学申、史宝华和包安祥。

簡 裝 本 說 明

目前850×1168公厘規格紙张較少，本書暫以787×1092公厘規格紙张印刷，定价相应減少20%，希鑒諒。

电眞空器件制造工艺学

中 册

尼·阿·布利斯庫諾夫編，

清华大学电眞空器件制造工艺教研組譯

人民教育出版社出版 高等学校教学用书出版部 北京宣武門内石老娘胡同7号

(北京市书刊出版业营业許可証出字第2号)

統計局印刷厂印装 新华書店发行

統一书号13010·556 开本787×1092 1/32 印張5 10/16 字数132,000 印数4,801—5,800

1957年12月第1版 1961年3月北京第4次印刷 定价(7)¥0.55

中册目录

第一章 眞空熔封 …… 1

§ 1. 眞空熔封的原理 …… 1
§ 2. 用于熔封在玻璃中的金屬 …… 6
§ 3. 鉄鎳合金 …… 19
§ 4. 鉄鎳鈷合金(費臬古合金,可伐合金) …… 21
§ 5. 鉄鎳鉻合金 …… 25
§ 6. 鉄鉻合金 …… 26
§ 7. 用于和玻璃熔封的其他合金和金屬 …… 27
§ 8. 熔封的型式 …… 29
§ 9. 匹配熔封工艺 …… 30
§ 10. 不匹配熔封工艺 …… 37
§ 11. 采用金屬焊料的熔封 …… 44
§ 12. 玻璃和金屬的机械連接 …… 50
§ 13. 陶瓷和金屬的熔封 …… 53
§ 14. 陶瓷和玻璃的熔封 …… 63

第二章 金屬零件的焊接 …… 66

§ 1. 焊接的物理基础及分类 …… 66
§ 2. 点焊时的接触电阻 …… 68
§ 3. 点焊时的加热 …… 74
§ 4. 接触焊接机的电路部分 …… 78
§ 5. 按压机構和通电机構 …… 84
§ 6. 点焊用的电極 …… 86
§ 7. 利用电容器放电的焊接 …… 91
§ 8. 点焊工艺 …… 92
§ 9. 电眞空技术中所用金屬的点焊特性 …… 99
§ 10. 原子氫焊接 …… 101
§ 11. 其他焊接方法 …… 103

第三章 金屬的釬焊和机械連接 …… 105

§ 1. 釬焊的意义及物理化学基础 …… 105
§ 2. 釬焊的种类及焊料成分的选擇 …… 108
§ 3. 軟(易熔)焊料焊接 …… 109
§ 4. 硬(耐熔)焊料焊接 …… 112
§ 5. 硬焊的方法 …… 117

§ 6. 金屬的机械連接 ……120
第四章 零件的清洗和物理化学处理 ……122
§ 1. 电真空器件材料和零件上髒物的来源 ……122
§ 2. 清洗电真空器件零件和材料用的溶剂的特性 ……123
§ 3. 零件的化学和电化清洗方法 ……130
§ 4. 金屬表面的机械清潔方法 ……141
§ 5. 零件在真空中、惰性气体中和空气中的退火 ……154
§ 6. 零件表面的物理化学清潔处理 ……167

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

第一章　眞空熔封

§1. 眞空熔封的原理

电眞空器件的最重要的結構零件之一，就是金屬和玻璃的熔封。对于任何一种金屬和玻璃的熔封，都提出了一系列的要求，其中主要的有下面几点：

1. 气密性，卽不透气性。
2. 热稳定性。
3. 防湿性。
4. 机械强度。

怎样才能得到滿足上述所有要求的熔封的問題，是电眞空器件生产中最复杂的任务之一。

在設計器件时，为了得到金屬和玻璃間的可靠的眞空連接，应特别注意下面二个最重要的条件：卽玻璃和金屬的热膨脹和玻璃对于金屬表面的粘着力。此外也必須使金屬的表面很清潔，沒有油脂杂物，沒有縱向的（沿着熔封处）裂縫或裂痕。

在第一种情况下（卽滿足玻璃和金屬的热膨脹的条件下），熔封的玻璃和金屬的膨脹系数的平均值，在低于玻璃退火溫度上限的溫度范圍內，彼此应尽可能地接近。为了滿足这一点，必須使玻璃和金屬的膨脹系数的溫度曲綫也尽可能靠得很近。但是，这一点对于各种玻璃和銅的所謂不匹配熔封（見§9）說来，不一定是必要的，大家知道，銅的膨脹系数較任何玻璃的膨脹系数都大得多。在这种熔封中，膨脹系数之間的显著的差异，就被熔封处所具有的一种特殊的、甚易起彈性变形的結構所补偿了。由于銅的可塑性

11[illegible].39

很大，要得到这种結構是非常容易的。

要想使熔封在一起的金屬和玻璃的膨脹曲綫完全一致，在实际上是不可能的，因为純金屬的热膨脹随溫度变化的曲綫几乎是綫性的(仅对于某些含鉄的合金說来，热膨脹曲綫在居里点处有一些弯曲)，而对于玻璃說来，其热膨脹曲綫在轉化点附近却是向上弯曲的。但玻璃或金屬的彈性变形容許值愈小，則选擇金屬和玻璃的热膨脹时应愈求精确。因此，为了消除熔封处的拉伸应力(玻璃所能承受的这种应力，比能承受的压縮应力要小得多)，根据不同的熔封結構，最好选擇的金屬和玻璃，其膨脹系数的平均值在这个或那个方向只略有差异。例如，对于棒狀熔封(見§8)，希望玻璃的α大于金屬的α；而对于筒狀熔封則恰好相反。因为只有这样，在熔封后冷却时，金屬对玻璃才会施加压力。

在一般情况下，膨脹系数曲綫之間的差别可达10%。如果被熔封到玻璃中去的金屬很薄，以致它在膨脹的地方可以發生彈性变形，則金屬和玻璃膨脹系数間的差异就不起什么作用了。

如果玻璃的膨脹系数(从室溫到轉化点范圍內的平均值)小于金屬的膨脹系数，則玻璃在冷却时不像金屬那样收縮得厉害。在这种情况下，在进行棒狀熔封时，在玻璃和金屬的交界处就会出現徑向拉伸应力，它甚易使玻璃从金屬上剝落下来，因而在熔封处造成通路和空气間層，破坏了它的气密性。至于在軸向，由于金屬絲比玻璃收縮得厉害，就出現压縮应力。如果玻璃的膨脹系数比金屬的膨脹系数大，則在冷却时玻璃較金屬收縮得厉害，因此当將金屬絲熔封到玻璃中去时，会出現徑向压縮应力和軸向拉伸应力。例如，当預先在导綫的表面一層玻璃再去进行熔封的情况下，則由于这种縱向拉伸应力，可能造成螺旋狀裂紋。因此，在將金屬絲熔封到玻璃中去时，常选擇玻璃的膨脹系数略大于金屬的膨脹系数。所以要这样做，一方面是因为不可能檢查异常細小的毛細漏縫；另一方

面，在工業熔封中玻璃的極限抗張强度在徑向方面常小于軸向方面。此外，还要考虑到导綫的电流負載的影响，因为当通过导綫的电流突然增加时，导綫就强烈地發热，当金屬和玻璃間的溫度尚未平衡时，导綫的膨脹較玻璃要大得多。在金屬包圍玻璃的熔封中，（例如管狀熔封，見本章§10），如果金屬在冷却范圍內的平均热膨脹系数大于玻璃，則在玻璃中会出現压縮应力，而在相反的情况下，会出現拉伸力，此种拉伸力能使玻璃从金屬上剝离开来。因此，在这种場合下，金屬的平均热膨脹系数最好是大些。

在金屬和玻璃熔封后，如將其很快冷却，則不可避免地要产生这样的一种情况：即由于玻璃的导热性不良，玻璃的某些部分，例如，在接近具有良好导热性的金屬引綫处，已处于脆性狀态；同时，其他的部分却还未失去可塑性。当尚未失去可塑性的部分进一步冷却和收縮时，早已凝固的部分就不能变形，因而在玻璃中就产生应力，它能使熔封損坏，特别是在以后电流通过熔封了的导綫时，由于其热膨脹而还要产生机械应力。

由于这一原因，通常在玻璃和金屬熔封后，要在溫度高于轉化溫度的爐中，进行数小时的退火，随后慢慢地冷却；当玻璃的膨脹系数大于金屬的膨脹系数时，这一点尤其重要。經驗証明：当玻璃的膨脹系数的平均值（在轉化溫度到室溫之間）小于金屬的膨脹系数的平均值时，如果冷却进行得較快而不作長时間的退火，則可以得到較好的結果。这一現象的根据可能是：当在高溫下进行長时間的退火时，使鹼的含量会略为减少，因而引起玻璃的"硬化"，而硬化后玻璃的膨脹系数就变得更小了。适当地选擇退火和冷却的規程，差不多总是可以使金屬和玻璃的熔封处所产生的应力降低的。利用偏振显微鏡测量結構相同的、但經过不同的热处理的熔封中的最大应力，就可以确定这种規程。

在玻璃的退火区域內，金屬和玻璃的膨脹曲綫的交叉，对减小

熔封处的应力是有利的。因为在較高的溫度下，玻璃的膨脹远超过金屬的膨脹，此时在玻璃中不可能形成应力；但当熔封处完全冷却后，总还是有应力存在的，由于在退火的范圍內，玻璃还来得及塑性变形，因此在冷却后，玻璃的尺寸就和金屬的尺寸不相符合了。此时，金屬和玻璃熔封后如冷却得愈慢，則所形成的应力愈大。因此从这一观点看来，冷却进行得应尽可能地快，只要能避免在玻璃本身硬化时所形成的危險应力就可以了。

由上所述，只有在金屬和玻璃的膨脹曲綫在退火范圍以前完全一致时，才可能得到沒有应力的金屬和玻璃的熔封（这种情况在实际上是沒有的），而要避免在退火时所形成的应力是达不到的。对这一問題进行研究的許多研究者建議了一种所謂差异冷却法，卽在冷却时使金屬和玻璃間保持一定的溫度差，利用这种方法，可以得到实际上沒有应力的熔封。

为了得到可靠的、气密的熔封，必須使玻璃和金屬的膨脹系数在相当大的溫度范圍內大致相等。这一点是必要的，但是还不够。除了在玻璃中出現的应力以外，对于金屬和玻璃的熔封說来，尤其是对于熔封处的不透气性說来，玻璃和金屬間良好的粘着力起着决定性的作用。关于玻璃和金屬的粘着力这一問題，在近年来已搞得略为清楚了。为了得到良好的粘着力，玻璃的表面張力应尽可能小些，同时金屬表面的分子性質应尽可能与玻璃的分子性質相接近。因为玻璃是由氧化物所組成的，故为了得到可靠的熔封，应將金屬表面氧化。同时，氧化的程度和性質应完全是一定的。如果金屬能形成不同价的氧化物，則必須在能形成最低价氧化物的条件下使金屬氧化，这样就可以得到良好的粘着力。

如果与物理上的液体表面的粘着力比对着看，則粘着程度可以用所謂边界角 θ 来表征。如果完全沒有粘着，則 θ 角等于 180°（圖 1*a*）；在理想粘着时，θ 角等于 0°（圖 1*б*）。

在这一領域中所做的許多研究，以及測量純金屬和用于生产

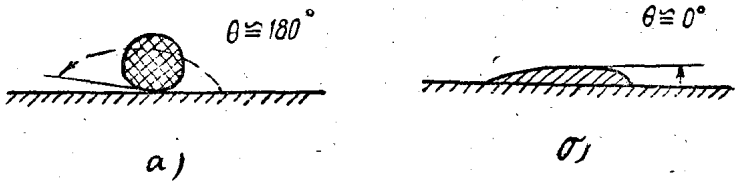

圖 1.

中的玻璃間的边界角，和測量氧化程度不同的氧化了的金屬和用于生产中的玻璃間的边界角后，都証实了上述理論。在表 1 中列出了鉬及其不同价的氧化物和 3C5 玻璃間的边界角的数据。

在这方面所进行的工作推翻了以前認为玻璃和鉑熔封时不会产生鉑的氧化物的說法。为此而作的一些实驗証明：当在眞空中將鉑片和玻璃球进行熔封时，沒有得到粘着（$\theta \cong 180°$）；而在空气中作此种同样的熔封时，所得到的边界角 θ 等于 40°。

表 1.

金屬或其氧化物	Mo	MoO_3	MoO_2
$\theta°$	146°	120°	60°

如上面已經指出的那样，在粘着作用方面，金屬的氧化性質有着巨大的作用。松而多孔的氧化膜（氧化銅 CuO，鉄的氧化物等）的形成，妨害了金屬和玻璃間的很好的粘着作用，因而也就得不到气密的熔封了。金屬表面上有密实的薄膜構成的氧化物（銅的低价氧化物 Cu_2O，Cr_2O_3，CoO）存在时，尤其是当此种氧化物能略溶于玻璃中时，粘着作用就非常良好。因此，为了得到良好的不透气的熔封，在熔封前，常常特地將金屬氧化。因为当氧化物的表面層部分地溶入玻璃中时，就形成好像琺瑯的薄膜，作为玻璃和金屬間的过渡層。

为使金屬和玻璃能結合得很好，熔封时加热的溫度应足够高，以便金屬的氧化物能很好地与玻璃相結合。在采用非貴金屬及其

合金时，为了避免过分氧化，这一温度通常不超过750—850°C。为了同样的目的，熔封的时間也应該短些。根据这一理由，在采用容易氧化的金屬时，宜用噴灯火焰中的較冷的还原焰部分加工，这样不仅可以防止过分强烈的氧化（还原焰的还原作用）；而且能防止形成不易被玻璃所吸收的高价氧化物。在采用具有其他金屬外層的导綫来封接时，也用此方法防止外層金屬的燒毀。

熔封处的不密实現象常常是由于在熔封处有大量的气泡所造成的。在熔封过程中加热时，被熔封的金屬会放出大量的气体，因而形成气泡。在这里，碳，特别是金屬表面層中的碳，起着很大的作用，因为碳在氧化时放出CO_2，它会在玻璃中形成气泡。因此，金屬預先应在H_2中或真空中退火（如果可能进行退火的話），以去掉其中的气体和碳，这样就能消除产生气泡的不良現象。

§2. 用于熔封在玻璃中的金屬

在电真空技术中，为与玻璃熔封，使用了大量金屬。对于用来制造熔封的金屬的基本要求如下：

1. 金屬和合金应足够耐熔，以便承受熔封时所加的热量，即金屬和合金的熔点应高于玻璃的加工溫度。

2. 此种金屬应具有精确地一定的热膨脹系数，且能用工業冶金法大量制得这种純的材料，即含有的非金屬杂質要尽可能少。

3. 材料应足够軟，以便能得到沒有裂縫、皺紋和其他机械缺陷的金屬綫或帶狀产品。

4. 为了得到匹配的熔封，在所要求的同一溫度范圍內，玻璃和金屬的热膨脹系数曲綫应彼此很好地一致。

5. 在熔封操作中，在金屬所能承受的溫度范圍內，金屬不应發生任何同素异性轉化。因为伴随着此种轉化，金屬的热膨脹系

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

数会显著的改变。这一溫度范圍可能是很寬的，从-50°C 直到2000°C。

6．在金屬和玻璃熔封时，如在金屬表面形成氧化層，則这一氧化層应能牢固地粘着在玻璃和金屬上，因此，金屬和合金应能很好地被玻璃所粘着，或者与玻璃形成琺瑯，以使熔封成为不透气性的，亦即眞空密封的。

7．如果有强电流通过金屬，則它应具有高的电导和导热性。如果不是这样，則在电流通过导綫时的灼热，可能引起应力的强烈增加。

8．希望所用的金屬与其他金屬能容易地熔接或焊接在一起，这一要求时常是十分必要的。

和玻璃熔封的金屬中，最初用的材料是鉑（基本上用作引綫）。鉑很耐熔，也能很好地和玻璃粘在一起，在熔封时不产生气泡。鉑的綫膨脹系数 $\alpha = 91 \times 10^{-7}$，与用得最广的玻璃的綫膨脹系数十分接近。但鉑貴而稀有，所以不能將它用在大規模生产中，因此鉑已被很多代用品所替代了，目前就是在实驗室中也不常用它。

在大量生产的电子管中代替鉑的主要代用品是代鉑絲（通称杜美綫），其所以称为代鉑絲，是因为它的膨脹系数和鉑的膨脹系数很接近。

1．杜美綫

A．杜美綫生产用的原材料

在外表面复有其他金屬或合金的金屬或合金，称为双金屬。杜美綫是用双金屬所做成的圓棒，中心（棒心）是由一种專門的鎳鋼（含鎳量較多的鉄和鎳的合金），而外層是由紅銅所構成。銅和鉄鎳合金具有不同的膨脹系数，因此控制杜美綫中銅和鎳的含量，就可以使杜美綫具有不同的徑向膨脹系数。如果棒心中鎳的含量

愈多(在40—50%之間),以及棒心上所鍍的銅的分量也愈大,則杜美綫的徑向膨脹系数就愈高。在表 2 中列出了鎳和銅对鉄鎳棒心的重量而言占有不同的百分数时,杜美綫的經向膨脹系数。

控制鉄鎳棒心的直徑和銅層厚度間的关系,就可以得到所要求的膨脹系数。

表 2.

銅的含量%	鎳的含量%						
	42.0	42.5	43.0	43.5	44.0	44.5	45.0
	膨脹系数 $\alpha\times10^{-7}$						
4							82.0
6							82.9
8						82.0	83.8
10						83.0	84.8
12					82.3	84.0	85.7
14				81.7	83.3	85.0	86.7
16				82.8	84.4	86.0	87.7
18			82.3	83.9	85.4	87.0	88.6
20		81.4	83.4	85.0	86.5	88.0	89.6
22		82.5	84.5	86.0	87.5	89.0	90.5
24	81.7	83.6	85.6	87.1	88.6	90.0	91.5
26	82.8	84.7	86.7	88.2	89.8	91.0	92.4
28	83.9	85.8	87.8	89.3	90.7	92.0	93.4
30	85.0	86.9	88.9	90.4	91.7	93.0	
32	86.0	88.0	90.0	91.4	92.8		
34	87.1	89.2	91.1	92.5			
36	88.2	90.3	92.2	93.6			
38	89.3	91.4	93.3				
40	90.4	92.5					
42	91.5	93.6					
44	92.6						
46	93.7						

制造杜美綫用的原材料是長度为1.5 米和直徑为 8 毫米的、圓

形的鉄鎳合金棒，它应满足下面的技术要求：鎳的含量为42—44%；磷和硫的含量各不应超过0.03%；不应含有鉻；鉄鎳棒应很好地磨光和拉直；不应有气泡、黑点、裂縫和显著的毛刺。

先將鉄鎳棒在溫度为1200—1250°C的氫气氛的电爐中退火，时間約2小时。此时在棒的表面上的鉄的氧化物就被还原，杂質也就被除掉。

退火后的棒連續地通过10%的鹼溶液(苛性鉀)，以除去表面上的油脂斑点，随后通过流动的冷水，再通过10%的硫酸溶液，以除去表面上已还原了的鉄的氧化物，最后再次通过流动的冷水。

經过上述处理后的棒，用电鍍法在其表面上鍍上一層銅。

Б. 鉄鎳棒的鍍銅

在鉄鎳棒上鍍銅是在深的鉛槽中进行的，槽中注滿电解液，此电解液是用硫酸酸化后的硫酸銅的水溶液。

一組棒挂在槽中的銅軸上；垂直浸入溶液中。由發电机或整流器来的直流电通过溶液。浸在电解液中的粗銅条作为陽極，而鉄鎳合金棒則作为陰極。

在电流的作用下，溶液就分解成帶有正电荷的銅离子(Cu^{+})和帶有負电荷的硫酸根离子(SO_4^{--})。銅呈微粒的形式沉积在陰極表面上，即沉积在鉄鎳棒的表面上，并且在棒上大量地积聚起来，形成密实的銅膜。硫酸根离子則积聚在陽極上，即积聚在銅条的表面上，它們互相起化学作用而形成硫酸銅。硫酸銅就馬上溶解入槽中，因而就补充和代替了为复盖棒而已經被分解和使用掉的硫酸銅。为了使槽中的硫酸銅得到补充，同样也要定期地加入补充的一分鹽类。

为了使銅均匀地沉积在棒上，要用压縮空气將槽中的溶液强烈地攪拌。压縮空气是由槽底蛇形管上的許多小孔通入槽中的。

在鍍銅以前，棒的平均重量約为 600 克。所鍍的銅大約等于 210 克，即占棒原重的 35%。棒的厚度在电鍍后約增加 1.5 毫米。如表 2 中所看到的，在鉄鎳棒中适当的鎳的含量下，鍍上不同量的銅，就可以得到所要求的杜美綫的膨脹系数。

將所要求的銅層鍍到棒上去的速度取决于从發电机所得到的电流的大小。电流愈大，鍍复的过程进行得也就愈快。

在电解过程中，棒表面的純度有着巨大的意义。如果这一要求不能保証的話，銅就不能很好地附着在不清潔的表面上，在以后加工时，銅可能从杜美綫上"掉下来"。

B. 杜美綫的机械加工

电鍍后，复盖了銅的棒就拿去鍛冶，和鍛冶鎢和鉬条一样，是在同样的旋轉着的錘打机上进行的。

在加热狀态下进行的鍛冶的溫度为 650°C。經过 3 次到 4 次錘打后，杜美綫的直徑就从 9.5 毫米减小到 7.6 毫米。

为了减輕以后的加工，將棒在管狀电爐內，于氫气或成形气体的气氛中，約在 800°C 的溫度下进行退火。在退火时，先將棒通过爐子的热的区域，然后通过冷却器，在冷却器中因为有氫气或氮氫混合气体，故不会使热的棒氧化。

在鍛冶和退火后，在各种不同的拉絲机上將杜美綫拉到所需要的直徑。在粗拉时用巴别基特拉模；从 0.30 到 0.25 毫米开始，用金剛石拉模。在进入拉模前，在导綫上先塗以工業用动物脂(在粗拉时)或者塗上肥皂溶液(在多次細拉时)。

和拉鎢絲和鉬絲时不同，拉杜美綫是冷拉。在拉絲过程中，杜美綫慢慢地变得坚而硬，因此就为进一步的拉絲增加了困难。为了克服这一点，在整个拉絲过程中，要將杜美綫在电爐內，于成形气体或氫气氛中进行数次退火。退火后，杜美綫就变得比較柔軟了，

这样就便于以后的拉絲。如果在下一次拉絲时不發生断裂，就認为这一次退火是良好的。

在进行下一步的工序(硼酸处理)之前，要將杜美綫在复繞机上复繞同时使它通过醮有純酒精的棉花，以去掉它表面上的潤滑剂的痕迹。

Г. 杜美綫的硼酸处理

硼酸处理就是在杜美綫的外層銅上涂上一薄層硼砂（硼酸鉀 $K_2B_4O_7$ 或硼酸鈉 $Na_2B_4O_7$），以保証熔封到芯柱中的电極具有气密性。

在圖 2 上給出了杜美綫的硼酸处理用的裝置簡圖。杜美綫由放綫軸 *1* 經导向輥 *2* 和 *6* 繞到拖动軸 *7* 上。在兩个綫軸間裝有兩个煤气爐 *3* 和 *5* 以及一个盛有硼砂的水溶液的小槽 *4*。杜美綫先通过第一个煤气爐 *3*，被該爐中的敞口火焰的强热，因而被去掉油脂并使銅層表面氧化，形成了一層極薄的低价氧化銅 Cu_2O。然后，杜美綫經导向輥 *8* 进入盛有热硼砂溶液的小槽，在該小槽中，上复一層溶液，接着，就进入第二个煤气爐 *5*，在該爐中，杜美綫上的硼砂溶液就为敞口火焰烘干。此时，硼砂与氧化銅間也就产生了化学作用。結果，在杜美綫的表面形成一种新的物質，此种物質随加热溫度的不同，具有深淺不同的紅顏色。

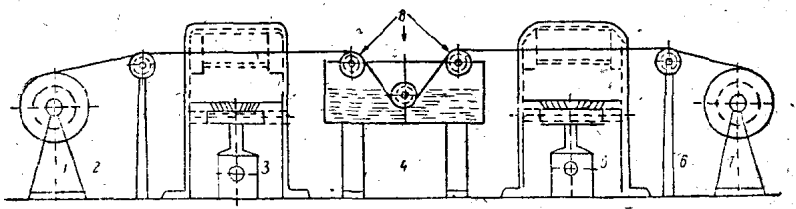

圖 2.

第一个煤气爐中的溫度应为 630—650°C，第二个爐的溫度則

为1000—1050°C。

第二个爐的爐溫低时，杜美綫呈草黃色，硼砂可以粘牢在杜美綫的表面。第二个爐的爐溫高时，杜美綫呈暗櫻桃色，而硼砂会从杜美綫的表面掉下来。硼酸处理过的質量良好的杜美綫应是磚紅色的。这种顏色說明硼酸处理过程进行得正常。

杜美綫經过在兩个爐中加热后，就已得到很好的退火，因而变得軟而具有彈性，这一点在下一步制造电極时是非常重要的。

Д. 杜美綫的缺点

杜美綫最常見的缺点是內部通道和銅層的裂縫，它們会造成漏气和暗的或黑的斑点，这些都說明了在这些地方沒有銅，或者銅被过分氧化了。这样就使杜美綫不能很好地熔封到玻璃中去，在熔封处会造成气泡和毛細縫隙；因为 Fe 和 Ni 的氧化物以及 CuO（不同于 Cu_2O）在表面上会形成一層很难被玻璃粘住的多孔層。在表面缺乏硼酸鹽或硼酸鹽遭到了破坏时，也可能是造成杜美綫缺陷的原因，因为此时杜美綫与玻璃的粘着是很困难的了。硼酸鹽層的破坏可能是由于在湿空气中存放得太久之故，因为K 和Na 的硼酸鹽的收湿性很强；因此，为了免受湿气的作用，必須把杜美綫包裝好了再存放（羊皮紙，金屬箔，密封的盒子）。如果將表面为湿气所飽和了的（在表面有灰白色的斑点）杜美綫熔封时，則气泡的出現是不可避免的。如將杜美綫在熔封前通过 800—1000°C 的爐子，以使硼酸鹽層去水和將它們熔成玻璃狀态的薄層，可以有助于消除这一缺点。

Е. 杜美綫的檢驗

每一軸經硼酸处理过的杜美綫在出車間以前必須經过檢驗。为此，將杜美綫慢慢地从一个綫軸上繞到另一个綫軸上，此时檢驗

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com