

73.6  
918

# 电真空器件阴极热丝 制造工艺

〔苏联〕Ю. А. 謝敏諾夫著

华清、其偉合譯

## 內容提要

本书阐述了电真空器件热絲制造的工艺原理。介绍了制造热絲的材料的一般性质和对材料所提出的要求，热絲的制造方法，热絲絕緣层的塗覆方法，热絲的特种試驗等。

书中还簡述了电子管热絲中的物理过程。

本书对电真空工业的设计师和工艺师是一本有价值的参考书。

ZF71/26

ПРОИЗВОДСТВО ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ КАТОДОВ  
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

[苏联] Ю. А. СЕМЕНОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1962

电真空器件阴极热絲制造工艺

华清、其偉合譯

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第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

787×1092 1/32 印張 47/8 103千字

1965年9月第一版 1965年9月第一次印刷 印数：0,001—1,340册

統一书号：15034·963 定价：(科六) 0.60元

# 目 录

作者序 .....	5
第一章 制造热絲用的材料 .....	7
1. 材料的一般要求 .....	7
2. 鎢和鎢鉬合金 .....	7
3. 鎢銻合金的某些特性 .....	23
4. 剛鋁石及其性质 .....	26
第二章 热絲芯絲的結構与制造 .....	37
1. 热絲的結構 .....	37
2. 热絲芯絲的制造 .....	40
3. 氫气的干燥和檢驗 .....	49
第三章 热絲絕緣层的塗覆方法 .....	54
1. 热絲塗覆方法概述 .....	54
2. 剛鋁石电泳沉积的一般原理 .....	54
3. 阴极电泳塗覆法 .....	57
4. 阳极电泳塗覆法 .....	77
5. 用水介质电泳 .....	83
6. 用拉塗法塗覆絕緣层 .....	101
7. 絕緣塗层的噴塗法 .....	107

8. 剛鋁石化热絲的燒結和檢驗 .....	111
9. 热絲的加固 .....	118
第四章 热絲的特殊試驗 .....	121
1. 对电真空器件的特殊要求 .....	121
2. 震动試驗 .....	122
3. 冲击試驗 .....	126
4. 电真空器件在断續燃点条件下的試驗 .....	128
第五章 电子管热絲中的物理过程 .....	131
1. 引言 .....	131
2. 热絲的热性能 .....	132
3. 阴极-热絲迴路中的漏电流 .....	134
4. 剛鋁石的电导率与热发射 .....	138
5. 热絲的老练 .....	140
6. 热絲伏安特性曲綫和老练过程的物理意义 .....	142
7. 热絲的发黑 .....	145
8. 剛鋁石塗层的击穿 .....	149
参考文献 .....	154

## 作者序

带旁热式阴极的电子管是在数十年前随交流供电收音机的創制一同問世的。管子阴极工作所需的溫度靠热絲供給，热絲裝在阴极套管內并有專門的供电电路。热絲材料通常采用鎢和鎢鈹合金。用能保證热絲和阴极間有尽可能高的絕緣的材料作为絕緣层，这种絕緣是管子在电路中工作的条件下所必須的。

絕緣涂层的制造有很多种方法。最初采用的是由陶瓷材料和純氧化鎂制成的絕緣管。但由于陶瓷的絕緣性能不良，以及高溫下氧化鎂会被鎢所还原，因此只能采用氧化铝作为絕緣材料，在氧化铝中加添氧化鈹可使涂层的絕緣性能进一步改善。

热絲絕緣层在高溫下应有良好的絕緣性能，并具有管子工作所必須的許多額定的机械性能和热性能。

热絲工作时及热絲制造过程中发生的一系列物理过程都取决于热絲的质量。裝在阴极內部的热絲是在复杂的溫度条件下工作；沿阴极和徑向产生的溫度降有可能使局部过热。在很多情况下，阴极与热絲間都加有很高的电場，因而使絕緣层在高溫下的工作状况变得更为复杂。在許多場合下，电真空器件还必須經受各种不同的机械和气候作用：强振动、在灯絲断續接通的条件下运用、剧烈的溫度变化等等。这些

作用对工作在  $1400^{\circ}\text{K}$  以上的热絲影响极为显著。对于工作在上述条件下的器件，热絲的质量特别重要，因为它常常决定着成品器件的可靠程度。

現代电真空器件中絕大部分都具有旁热式阴极。例如，100%的电子束管和金屬陶瓷管，約 90%的收訊放大管和磁控管，約 70%的离子器件等都使用旁热式阴极。因此在电真空工业中，热絲的制造占有十分重要的地位。

本书乃是将有关电真空器件热絲制造問題归納为一个整体的初次嘗試。书中包括热絲制造所用材料的性质和生产的基本知識，热絲芯子的制造，叙述了热絲的塗覆方法、檢查和試驗，以及电子管热絲中发生的物理过程。

本书可供电真空企业的設計师和工艺师閱讀，并可作为教材供学习电真空器件和材料制造工艺的高等学校和中等技术学校的学生用。

# 第一章

## 制造热絲用的材料

### 1. 材料的一般要求

考虑到热絲很高的工作温度，对热絲材料的一般要求基本上归结为对芯子材料要求耐熔性、蒸发率小、导电率低；对涂层材料则要求绝缘能力好和导热率高。最重要的还是涂层材料在热絲工作温度下的化学惰性，因为芯子材料与涂层材料的相互作用会使它们发生种种损坏，以及使绝缘程度变低。

常用钨和含钨 50% 的钨钼合金作热絲芯子的材料。钨钼合金是热絲芯子的新材料。它的优点是电阻率比钨更高，并有纯钨所缺乏的良好延展性。钨钼合金的电阻率比钨高，可以在保持恒定功率（依靠增大芯子的直径）的情况下，降低热絲的热负载，从而大大提高成品器件中热絲的可靠性和寿命。

在苏联工业中，采用各种牌号的氧化铝作为热絲涂层的绝缘材料，这些氧化铝均由熔融刚玉获得。熔融刚玉优于普通氧化铝之处，是导热率更高，导电率低和焙烧时的收缩率小。因而能减少热絲涂层中的微隙量。这点对机械拉涂法特别重要。

### 2. 钨和钨钼合金

钨的某些性质 钨在电真空器件生产中使用的所有难熔金属内占有特殊的地位。它极广泛地用作功率管的阴极材料

和X射綫管的对阴极。在大多数电子管和白熾灯泡中，实际上，只有鎢及其合金能用作旁热式阴极的加热体。鎢是最难熔的金属，其它所有元素中只有碳能与之竞争〔1〕。为了比較，表1列出了一些熟知的金属和碳在大气压下的熔点与沸点。

表 1

材料名称	熔点, °C	沸点, °C
鎢	3370	5900
鉍	3000	4100
鉑	1773.5	4300
铁	1555	3000
金	1063	2600
鉅	2625	3700
鋁	660	1800
碳	3500	4200

鎢能經受热机械加工，因而可以得到牢固和直径均匀的細絲。下面列出鎢的主要化学反应。

鎢的化学反应；

室溫下与氧不反应；

400~500°C时在空气中开始氧化；

500°C时在空气和水气中迅速氧化；

仅与热的 HCl 和 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 反应；

与 HF 不反应，在 HF 和 HNO<sub>3</sub> 的混合液中迅速溶解；

与碱溶液不反应，在熔融的碱和 NaNO<sub>2</sub> 与 NaNO<sub>3</sub> 的混合物中氧化；

有 KNO<sub>3</sub>、KClO<sub>3</sub>、KNO<sub>2</sub> 或 PbO<sub>2</sub> 存在时，在熔融的 KOH 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 中迅速溶解；

在沸騰的 20% NaOH 溶液和 5 份 HNO<sub>3</sub>、3 份 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 与 2 份 H<sub>2</sub>O 的混合液中脫层；

在沸騰的 3% 过氧化氢溶液中浸蝕緩慢，在 44.5 份 NaOH、305 份 K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> 和 1000 毫升水的混合液中，很快浸蝕；



温度高于 1200°C 时与碳和碳氢化合物形成碳化物；

温度高于 1200°C 时在二氧化碳气氛中氧化；

与氢不反应，温度低于 1200°C 时吸附微量的氢气；

温度高于 2300°C 时在

表 2

氮气中形成氮化钨；

温度高于 2000°C 时，氧化钨与  $Al_2O_3$ 、Zr 接触被还原；

温度高于 1000°C 时，氧化镁还原氧化钨。

表 2 列出了真空中钨和钼的蒸发速率数据。

真空中钨的蒸发速率比钼的蒸发速率小四个数量级以上。

温度, °K	蒸发速率, 克/厘米 <sup>2</sup> ·秒	
	钼	钨
1200	$1.23 \times 10^{-20}$	$3.22 \times 10^{-27}$
1400	$1.20 \times 10^{-16}$	—
1500	—	$2.36 \times 10^{-20}$
1600	$1.23 \times 10^{-13}$	—
1700	—	$4.16 \times 10^{-17}$
1800	$2.82 \times 10^{-11}$	—
1927	—	$2.0 \times 10^{-15}$
2000	$2.07 \times 10^{-9}$	$1.75 \times 10^{-13}$

表 3 列出在真空中研究钨丝时得到的各个特性的一些数据〔2〕。

上述数据表明，钨是能满足加热体所有质量要求的材料。下面简要叙述制取钨丝的主要阶段。

**钨丝的制取** 制造钨的原料是钨酸，它由钨矿石——钨锰铁矿和白钨矿经过长时间复杂加工获得〔3, 4, 5〕。钨酸通过一系列化学-热处理过程便转变为暗灰色的金属态纯钨粉。这种粉末在水压机内被压成坯棒，坯棒在专用氢气炉内于 1100~1300°C 的温度下烧结，而后再在专用的焊接设备中焊接。工艺过程的化学-热处理部分到焊接工序便告结束。此后坯棒要经受机械加工——锻打和拉伸。锻打时，坯棒变为直径数毫米的细棒。棒截面进一步变细要通过专用机器上

表 3

温度, °K	电阻率, 米 × 10 <sup>-6</sup> 欧姆·厘米	辐射功率, 瓦·厘米 <sup>-2</sup>	亮度, 米 <sup>-2</sup> 光度·厘米	蒸发率, 秒 <sup>-2</sup> 克·厘米 <sup>-2</sup>	蒸汽压, 达因·厘米 <sup>-2</sup>	总辐射 系数	热膨胀	原子热容, 卡·克 <sup>-1</sup> · 度 <sup>-1</sup>	含热量, 卡·克 <sup>-1</sup> = 原子 <sup>-1</sup>
293	5.49	—	—	—	—	0.0166	1.00000	6.029	1160
300	5.65	0.0000314	—	—	—	0.0170	1.00003	6.03	1202
400	8.056	0.00199	—	—	—	0.0238	1.00044	6.05	1777
500	10.56	0.00971	—	—	—	0.0320	1.00086	6.09	2362
600	13.23	0.0304	—	—	—	0.0435	1.00130	6.14	2954
700	16.09	0.0764	—	—	—	0.057	1.00175	6.20	3551
800	19.00	0.169	—	—	—	0.072	1.00222	6.24	4152
900	21.94	0.322	—	—	—	0.088	1.00270	6.30	4757
1000	24.93	0.602	0.000126	5.32·10 <sup>-34</sup>	1.98·10 <sup>-29</sup>	0.105	1.00320	6.36	5370
1100	27.94	1.027	0.00107	2.17·10 <sup>-30</sup>	1.22·10 <sup>-25</sup>	0.124	1.00371	6.43	5997
1200	30.98	1.66	0.00631	3.21·10 <sup>-27</sup>	1.87·10 <sup>-22</sup>	0.141	1.00424	6.52	6640
1300	34.08	2.57	0.0276	1.35·10 <sup>-24</sup>	8.18·10 <sup>-20</sup>	0.158	1.00479	6.67	7497
1400	37.19	3.83	0.104	2.51·10 <sup>-22</sup>	1.62·10 <sup>-17</sup>	0.175	1.00535	6.80	8170
1500	40.36	5.52	0.333	2.37·10 <sup>-20</sup>	1.54·10 <sup>-15</sup>	0.192	1.00593	6.96	8853
1600	43.55	7.74	0.927	1.25·10 <sup>-18</sup>	8.43·10 <sup>-14</sup>	0.207	1.00652	7.10	9560
1700	46.78	10.62	2.33	4.17·10 <sup>-17</sup>	2.82·10 <sup>-12</sup>	0.222	1.00713	7.25	10278
1800	50.05	14.19	5.12	8.81·10 <sup>-16</sup>	6.31·10 <sup>-11</sup>	0.237	1.00775	7.40	11010
1900	53.35	18.64	10.93	1.41·10 <sup>-14</sup>	1.01·10 <sup>-9</sup>	0.250	1.00839	7.55	11758
2000	56.67	24.04	20.66	1.76·10 <sup>-13</sup>	1.33·10 <sup>-8</sup>	0.263	1.00904	7.70	12521
2100	60.05	30.5	37.75	1.66·10 <sup>-12</sup>	1.27·10 <sup>-7</sup>	0.274	1.00971	7.85	13298
2200	63.48	38.2	64.0	1.25·10 <sup>-11</sup>	9.88·10 <sup>-7</sup>	0.285	1.01039	8.00	14091
2300	66.91	47.2	103.7	8.00·10 <sup>-10</sup>	6.47·10 <sup>-6</sup>	0.295	1.01109	8.15	14898
2400	70.39	57.7	164.4	4.26·10 <sup>-10</sup>	3.52·10 <sup>-5</sup>	0.304	1.01180	8.30	15721
2500	73.91	69.8	248.0	2.03·10 <sup>-9</sup>	1.71·10 <sup>-4</sup>	0.312	1.01253	8.45	16559

的几道拉絲模拉伸。

拉伸时，錫晶体沿棒的軸向伸长，使絲形成纖維状結構。这种結構便决定了它的高强度和韌性。拉伸过程分为四步：粗拉、中拉、細拉和精拉。粗拉和中拉用硬质合金拉絲模进行(图1)，細拉和精拉則用金剛石拉絲模进行(图2)。拉絲模就是一个模具，上面压入钻有所需直徑錐形圓孔的金剛石或硬质合金板。

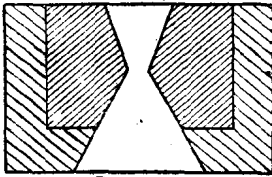


图1 硬质合金拉絲模。

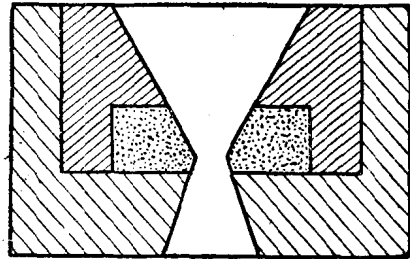


图2 金剛石拉絲模。

被拉伸的絲用特殊的潤滑剂潤滑，以減少拉絲模的磨損。通常使用石墨的水胶性溶液——石墨乳作为潤滑剂。

錫絲在多次拉伸机上拉伸，拉伸机帶有加热絲的輔助裝置和拉絲模。用煤氣噴灯或电热器进行加热，能使工作条件得到一些改善，并保証工作状态更加稳定。

把絲从1毫米拉到0.01毫米，一般需用80~90个拉絲模。由于制造拉絲模的困难，无法把絲的直徑拉到0.01毫米以下，这样細的絲只能用电化学腐蝕的方法得到。

拉伸后的錫絲会包上一层薄而紧密的石墨层。除石墨外，該层内还存在着若干数量的氧化錫，并混有拉伸时从絲上剥落下来的微細金屬粒。所有这些杂质都必须清除，因为高温

下可能会形成碳化鎢，这时鎢絲的长纖維状結構轉变为粒状結構，使絲发脆。原絲或热絲成品表面的清洁处理均取决于該种类型热絲的制造工艺。下面列出各种絲的主要应用場合：

1. 用未清洗和未退火的鎢絲（黑絲）制造螺旋形热絲（繞絲的芯模以后用化学方法蝕除）。因为螺旋繞好后要立即在还原性气体中进行热处理和化学腐蝕。

2. 用經過化学清洗和退火的鎢絲制造折叠形热絲。制造螺旋-折叠形热絲时，繞絲的芯模要采用已清洁处理但未退火的鎢絲。在剛鋁石层塗覆后，將芯模蝕除。

3. 用經過化学清洗但未退火的鎢絲制造螺旋形热絲，繞絲的芯模以后从螺旋中机械地抽出。

用电解法清洗鎢絲方便而生产率高，因此应用最广。

鎢絲的电解清洗和热处理 利用电解法可以得到很多金屬的平滑而光亮的表面。鎢、鋁及其合金也不例外。鎢上的氧化物和石墨乳，在碱性电解液中用交流电进行清除。清除过程大致如下：在交流电的正向分量作用下，直接处在氧化物和石墨下的表面层开始溶解，形成鎢酸盐。金屬的浸蝕一方面破坏了氧化物和石墨之間的机械連接，另一方面也破坏了氧化物与鎢之間的机械連接。当金屬带負电时，金屬上釋出的氢分子能松动和冲掉石墨膜与氧化膜，因而氢气的釋出可以加快清除速度。

試驗証实，当阳极电流密度从 10 到 100 安培/分米<sup>2</sup>、电解槽上电压为 3~10 伏和清除時間达 20 分钟时，鎢在苛性碱很寬的濃度範圍內（从 5 到 20%）都能滿意的清除。

直徑 15 到 30 微米鎢絲热拉伸后的清除，在图 3 所示的装置上进行。从綫盘上解下的絲，順次通过两个电解槽，在

槽內的热碱性溶液中受到交流电的处理。此后，通过热流动水槽洗滌，用弱酸性溶液中和，再用冷流动水冲洗并使之干燥，最后通过分放滑輪进入接收綫盘。在絲与接触滑輪接触时，为使过程稳定和消除絲的跳火，采用了双极性处理法〔6〕。这种方法是將电流通入两个相互絕緣的电解槽，两槽之間通过被清除的絲本身发生电的联系。在这种情况下，两槽間的滑輪仅具有次要的意义。

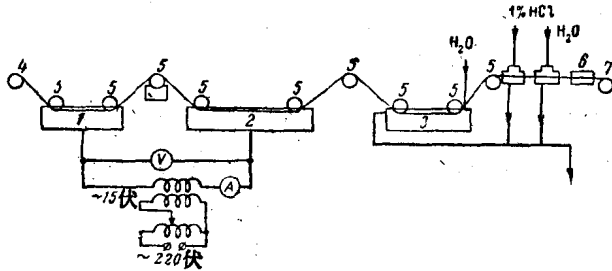


图3 直徑15~30微米鎢絲的电解清洗装置示意图，

1, 2—电解槽；3—洗滌槽；4—供絲装置；5—导向滑輪；6—棉球；7—收絲装置。

鎢絲电解清洗后，必須經受热处理以使絲具有一定的机械性能，同时也对絲上的碳化物痕迹作一次补加清除。热处理是用使鎢絲通过特殊结构的还原气体炉复繞的方法进行。图4示出这种炉子的断面图。用低压电流直接通入鋁管馬弗炉的方法加热。这种加热法非常經濟。

也可用氧化铝馬弗炉进行退火，此时借助繞在氧化铝馬弗炉周圍的鋁絲加热。

炉子安装在鎢絲复繞装置上。該装置附有JTM-1长度紀錄器，控制氫气流量的气量計，以及变压器、电压变换器

和控制炉子加热状况用的电压表和电流表。

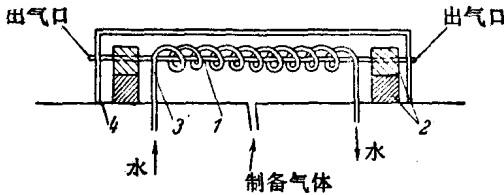
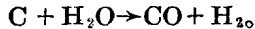


图4 钨丝退火用的铜管马弗炉示意图；

1—铜管马弗炉（加热体）；2—通入电流的水冷铜接头；3—螺旋管；4—炉壳。

钨丝用湿氢退火，可以造成还原性气氛，并能更细致的除尽钨丝表面上残留的污物。在含有大量水汽的湿氢中，碳杂质完全烧尽并按下式迅速反应：



在湿氢中退火时，温度不能高于  $1500^\circ\text{C}$ ，因为在更高的温度下，钨在潮湿气氛中会遭到更大程度的再结晶作用，从而使丝的机械性能变坏。钨丝、钨钼和钨铌合金丝的退火规范均应根据对丝的机械性能要求加以选择。为了选择某一批钨丝的退火规范，应取出一小段丝予先在不同的规范下退火，并检查丝断裂应力的大小。

表4列出各种材料制成的不同直径的丝退火前后的极限抗张强度值。

应当指出，任何材料制成的每一种直径的丝，其相应的退火规范，均应通过对成品中的丝进行实际检验的方法选定，并考虑到它所有的特性：电阻率、极限抗张强度、退火后的伸长等等。

表 4

材 料	絲的直徑, 微米	200 毫米一 段 絲 的 重 量, 毫克	極 限 抗 張 強 度, 克/毫 克 · 200 毫 米		退 火 后 的 伸 長, %
			退 火 前	退 火 后	
BA-3 牌 鎢 絲	31.7~44.0	3.02~5.86	87~102	72~81	0.5~1.5
	44.5~99.0	6.0~29.68	73~91	66~75	0.5~1.5
MB-50 合 金	50~60	5.10~7.4	107~120	47~57	1.5~2.0
	61~98	7.55~19.66	95~115	47~57	1.5~2.0
BP-20 合 金	25	1.84~1.87	74~78	57~61	12.5~17.0
	30	2.65~2.80	72~76	55~60	12.5~17.0
	35	3.65~3.69	71~76	54~59	15.0~16.0
	42	5.30~5.42	68~74	52~58	16.0~18.0
	56.4	9.78~9.88	67~73	51~55	15.0~17.0

**絲的技術要求** 制造熱絲用的幾種牌號鎢絲(包括 BA-3 和 BA-5), 它們的差別取決於化學成分、制造工藝和用途〔7〕。鎢絲按直徑公差的大小分為一級和二級。制造鎢絲需採用上述幾種牌號鎢絲中公差較小的一級絲, 以及含鉬 50% 的鎢鉬合金絲。

BA-3 和 BA-5 牌鎢絲的主要雜質是氧化鋁和氧化硅, 並且它們的總量小於 0.1%。在絲的再結晶過程中, 鎢內的鋁加成劑能控制各個鎢晶體的成長、形狀、相互位置和結合力。再結晶過程中在鋁加成劑作用下, 晶體能長達數厘米, 而且這時晶體之間的連接非常牢固。BA-3 和 BA-5 牌鎢絲長時間在高溫作用下也不易發生聚集再結晶。因此, 用這種牌號鎢絲制成的熱絲就不易呈現純鎢絲特有的脆性。

生產中常會見到鎢絲的各種缺陷。最有代表性的缺陷之一是鎢的分層——纖維分離。特別有害的是內部分層, 從外

面不易看出。因此必須在分层上对絲进行严格檢驗。絲分层的檢驗方法參見文献〔3, 8〕。

絲表面应无毛刺、裂紋和划痕。直徑 18~30 微米的絲，从綫盘上自由放开的一端不应卷成直徑小于 3 毫米的圓环。直徑 30.5~60 微米的絲从綫盘上自由放开的一端不应卷成直徑小于 10 毫米的圓环。絲在〔8〕所指定的条件下繞成螺旋时，不应有折断和分层。

一般的測微器不宜用来測量細絲的直徑。最准确的方法是按一段标准长度絲的重量（通常截取 200 毫米长的一段称量）来确定絲的直徑。称量在精确度达 0.2% 的扭力天平上进行。由于該段絲的重量是

$$P = \frac{\pi d_n^2 l \gamma}{4 \times 10^6}, \quad [\text{毫克}]$$

故所求直徑可按式

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \times 10^6 P}{\pi l \gamma}}$$

計算式中  $\gamma$  —— 鎢的比重，等于 19.33 克/厘米<sup>3</sup>；

$d_n$  —— 絲的直徑，微米；

$l$  —— 絲段的长度，毫米；

$P$  —— 絲段的重量，毫克；

对于 200 毫米长的一段鎢絲 ( $\gamma = 19.3$  克/厘米<sup>3</sup>)，上式变为

$$d_n = 18.17 \sqrt{P} \quad [\text{微米}].$$

表 5 列出了 200 毫米长一段絲的重量和与之相应的直徑，以及热处理前的强度极限、断裂应力和断裂伸长数据。

利用扭力天平檢驗絲的直徑，只能从絲盘的一端取样，



为了对更长的絲或甚至整个一盘絲进行檢驗，提出了很多其他的檢驗方法，其中包括絲的电阻測量檢驗法。

表 5

200 毫米长一段絲的重量，毫克	絲的直徑，微米	断裂应力，克/毫克·200 毫米	强度极限，仟克/毫米 <sup>2</sup>	伸长，%
鎢				
0.24~1.0	9.0~18.1	95~115	370~450	0.5~1.5
1.01~2.14	18.2~26.6	90~105	352~410	0.5~1.5
2.15~3.99	26.7~36.3	87~102	340~440	0.5~1.5
4.0~4.99	36.4~40.6	81~96	315~375	0.5~1.5
5.0~6.0	40.7~44.5	73~93	305~362	0.5~1.5
6.01~9.10	44.6~54.8	72~92	280~360	0.5~1.5
9.11~19.38	54.9~79.9	68~88	266~344	0.5~1.5
19.39~38.0	80.0~112	68~91	265~355	0.5~1.5
38.02~59.3	113~140	66~86	258~334	0.5~1.5
59.4~121	141~200	60~80	230~310	0.5~1.5
MB-50 合金				
5.10~7.4	50~60	280~315	107~120	1.5~2.0
7.55~20.4	61~100	250~305	95~117	1.5~2.0
21.0~66.2	101~180	240~290	92~111	2~2.5
67.0~160.0	181~280	240~280	92~107	2~3

表 6

絲的材料	絲的直徑，微米				
	280	180	100	50	20
电阻率值，欧姆·厘米×10 <sup>-4</sup>					
BA-3和BA-5 牌鎢絲	0.057~ 0.063	0.060~ 0.066	0.063~ 0.069	0.076~ 0.070	0.069~ 0.082
MB-50 合金絲	0.088~ 0.092	0.090~ 0.092	0.090~ 0.096	0.090~ 0.097	—