電熱線の化学成分並に其品質 検定法に就て*

正會員 十合晋次

(東京工業大學)

On the Chemical Composition of Heating Wires and the Method of Testing their Qualities

By Shinji Togo, Member.

内容梗概

著者の實驗に使用した各種の電熱線の化學分析の結果より、従前の實驗結果を考察し、更に其の結果より電熱線の品質鑑定の方法に關する私案を述べてある。

- (I) 緒言
- (II) 化學分析の結果
- (III) 分析の結果よりの考察
- (IV) 電熱線品質鑑定法

Synopsis.

In this report the author proposes a method for the investigation of the qualities of heating-wires, which is derived from his experiments as reported in previous papers as well as from a chemical analysis which is contained in the present paper.

The experiments, conducted in Japan on several heating-wires of both foreign and domestic markets, are concerned with the following subjects:

- (1) Electric resistance and temperature,
- (2) Thermal expansion coefficient,
- (3) Tensile strength at various temperatures,
- (4) Oxidation at high temperature,
- (5) Life at high temperature,
- (6) Current-temperature relation at various coil pitches.
- (7) Analysis of chemical composition from these experiments he tried to find:
 - (i) The comparative qualities of Japanese wires and foreign wires,
 - (ii) Design constants,
 - (iii) Facts affecting the life of the wires, especially the relation among the life, oxidation and amount of iron content,
 - (iv) The best method of quality-determination.

The first two, (i) and (ii), have already been reported, and the present paper treats with the last two, (iii) and (iv)

The dimensional irregularity of a wire, the amount of oxidation and some other unknown facts, like chemical heterogeneity, are supposed to affect the life of a wire.

The effect of oxidation is divided into two components, one effect from the uniform oxidation during continuous heating and the other effect from the oxidation at the beginning of preheating after a period of cooling. Therefore, a number of repeated heatings should be considered in determining the life as well as the total heating time.

But the amount of oxidation, except in extreme cases, as in Chromel C, fails to estimate the life, because it gives only the average amount of oxidation and nothing of the special oxidation at some particular weak point of a wire, which seems a more important factor since it causes a hot spot.

On the contrary, the change of resistance in such stages shows the total effect resulting from every kind of cause, and not from oxidation only, since the measurement of resistance in open air gives a much more adequate result for determination of life.

The slope of a resistance-time curve at a given temperature and the change of resistance by a number of repeated heatings can determine the life of a wire at that temperature, not taking into consideration the effect of hot spots.

* 本研究は手島獎學資金の補助に依つて行へるものである。

The resistance-temperature curve taken in the open air gives the actual value of resistance for design, and the temperature-coefficient of resistance obtained from this curve contributes to distinguish the wire for low temperature use from that for high temperature use.

A very large percentage of iron caused great oxidation, but the author could not find any

definite result with a moderate percentage of iron, and also any reason why the iron content of wire for high temperature use should be less than one percent.

The life of wire which contained a higher percent of silicon seemed to be greater.

(Aug. 1, 1929)

(I) 緒 言

電熱線はニッケルとクロームとを主成分とする合金であるが、中には多量の鐵を含有せしめたものもあるので、之等3成分の合金として取扱はれてゐるものが多い。併し之等の主成分中に含まれてゐる不純物、或は又其の製造工程中に導入せられた不純物等の爲に、其の化學分析の結果には種々の夾雜物がある。著者には此の方面の知識無く従つて分析の結果より考察すると云ふ方も無いが、之迄に實驗せる材料に對する化學成分を知る必要を認め、特に東京府立商工獎勵館の山本技師の援助により得たる分析の結果を記し、之に著者の考を附記して御教示を仰ぐ次第である。

尙此の際逕信省電氣試驗所の堀岡技師より、同所にて行つた化學分析の結果の御報知を受けて、非常に良い参考となつた事を述べ厚く感謝の意を表します。

(II) 化學分析の結果

分析の結果を示すと第1表及び第2表の如くなつた。各表には夫々、之迄行つた實驗の結果を附記して對照に備へた。

第 1 表 低 溫 度 用 電 熱 線

品 種 成 分	クローム C	グロレー —	ニクローム SS	ニッケローム No. 2	T C	T C No. 1
ニッケル (Ni)	62.61	65.74	59.85	71.21	57.42	59.16
クローム (Cr)	8.65	11.06	9.24	13.11	15.89	12.65
鐵 (Fe)	26.47	22.11	27.69	10.25	24.02	24.12
マンガン (Mn)	2.89	1.47	2.01	2.47	2.03	1.98
アルミニウム (Al)	0.25	trace	1.00	2.84	trace	1.00
シリコン (Si)	0.09	0.17	0.06	0.04	0.61	0.75
炭素 (C)	trace	trace	0.06	0.07	0.14	0.18
硫黄 (S)	trace	trace	trace		trace	
銅 (Cu)	trace	trace	trace			
計	99.96	99.95	99.91	99.99	99.93	99.84
酸化度(珪/平方釐) (1180°C, 5時間)	3.71	1.47	2.08	1.47	1.82	1.85
電氣抵抗 (オーム×10 ⁻⁶ /立方釐) (22°C)	114.1	117.3	118.2	110.7	116.1	—

温度係數 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) ($20^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C}$)	173	185	183	194	178	—
膨張係數 ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) ($20^{\circ}\text{C}-1000^{\circ}\text{C}$)	2.01	2.02	2.07	1.92	2.0	1.92
抗張力 (1000 $^{\circ}\text{C}$ (廷/平方吋)) (1100 $^{\circ}\text{C}$)	12.66 8.12	11.71 8.79	12.78 9.21	11.95 7.51	13.03 8.95	12.55 8.97
壽命(時—分) (1200 $^{\circ}\text{C}$)	13—23	30—10	17—30	17—32	64—20	54—0

第 2 表 高 温 度 用 電 熱 線

品 種 成 分	クローム A	ブライトレー	ニクローム IV	ニツケローム No. 1	T A No. 1
ニ ッ ケ ル (Ni)	77.17	79.49	76.52	73.47	75.28
ク ロ ー ム (Cr)	18.51	15.77	16.50	15.89	13.18
鐵 (Fe)	0.03	1.88	3.36	5.68	4.46
マ ン ガ ン (Mn)	4.00	1.25	2.27	2.42	2.36
アルミニウム (Al)	trace	1.15	1.00	2.32	3.89
シ リ コ ン (Si)	0.08	0.12	0.29	0.05	0.55
炭 素 (C)	0.03	0.05	0.00	0.01	0.05
硫 黄 (S)	trace				
銅 (Cu)					
計	99.82	100.06	99.94	99.84	99.84
酸化度 (廷/平方吋) (1180 $^{\circ}\text{C}$, 5時間)	2.04	1.98	3.06	1.71	1.81
電 氣 抵 抗 ($\text{オーム} \times 10^{-6}/\text{立方吋}$) (20 $^{\circ}\text{C}$)	114.0	112.0	112.3	118.1	115.5
温度係數($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) ($20^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C}$)	109.0	100.0	101.3	140.0	102.8
膨張係數($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) ($20^{\circ}\text{C}-1000^{\circ}\text{C}$)	1.94	2.14	2.13	2.12	2.08
抗 張 力 (1000 $^{\circ}\text{C}$ (廷/平方吋)) (1180 $^{\circ}\text{C}$)	12.9 8.1	12.31 7.29	12.72 7.58	13.92 —	12.11 7.09
壽命 (時—分) 1200 $^{\circ}\text{C}$	20—45	24—14	31—54	25—20	52—22

(III) 分析の結果よりの考察

前表に示された様な複雑な合金の性質を、其の成分より判定すると云ふ事は不可能であるから、

著者は實際電熱線の製造並に使用の兩方面で問題とされてゐる點に就ての私見を述べたい。クロームとニッケル、或は又之に鐵を加へて2元或は3元合金としての性質は、既に其の方面の専門家の研究結果として發表されてあるが、⁽¹⁾それが壽命に對する關係と云ふ風な實用的の問題には觸れてゐない。併し實際電熱線の仕様書には、鐵の含有量は1%以下たるべき事と云つた條件がある。それには依て來る所の理由もあるかと考へられるが、2%、3%では如何なる缺點を生ずるか云ふ風な問題も起きて來る。そんな點から氣付いた所を述べてみる事とする。

第1の問題は、鐵の含有量が酸化作用に如何様な影響を持つてゐるか云ふ事、又此の酸化の大小が壽命に對し如何に響くか、或は壽命が直接鐵の含有量に對して如何なる關係を持つてゐるか云ふ點である。

鐵以外の諸成分の量には無關係に單に鐵の含有量のみを考へて、之に對する酸化度並に壽命の關係を圖示すると第1圖の如くなる。此の結果を見ると酸化の量は鐵の含有量によつて一定の變

第1圖 鐵と酸化及壽命

化をするとも、又或は壽命が鐵の量から豫測出來るとも、更に又酸化の量が正確に壽命を決定すると云ひがたいのである。勿論非常に鐵の含有量の大きいクロームCやニクロームSSの如きは、共に酸化量も大きく又壽命も短い。酸化消耗の爲に其の壽命が來たも

のと考へられる。勿論總ての線は此の現象に依て、壽命を短縮してゐる事は明である。

著者は以前の壽命試験報告中に用いた試料を、第2圖のSPに示した様に、斷線せる部分より約10極毎に切斷して、同圖cに示した様に鉛片中に植込み、其の斷面を顯微鏡で見ると、切斷部に近い所ではdの如くなつてゐるものがある。即ち酸化作用が外圍より一様に内方に進展するとは限らず、中央部に蜂の巣の様に酸化してゐる部分を發見する。

第2圖

切斷部分の多くはホットスポットの爲に遂に溶解して、第2圖aの如き外形をしてゐるものが多いが、中には殆んど一様に酸化し盡されたるものゝ如く周圍bの様なものも見受る。之等による酸化作用がホットスポットを生ずる1大原因である事、及び是の壽命を消耗する重大なる項目である事を知り得るが、而し著者が以前に發表した様な測定値を以て酸化度とし、此の値の大小を以て直に壽命を決定せんとする事は早計である。實驗の結果は其の不當なるを示してゐるのみならず、又その理由も容易に説明出來る。一般に酸化量の時間に對する關係を求めると第3圖の曲線の如くなる。最初の如く短時間の酸化量は

⁽¹⁾ 大山松次郎氏著「電熱工學」及西村秀雄氏「電氣評論」參照

甚大であるが、間もなく殆んど一定の割合に酸化作用が進展する。直徑が一定であるとして A 線と B 線との酸化の様態を比較すると、A 線が B 線よりも早く壽命が盡きる道理である。一般に切斷までの時間は t_2 よりは遙に大であるからである。若し一定時間(著者の例では 5 時間)後の酸化の總量(或は單位表面積に對する酸化量)が、 t_1 に於けるが如き時間に求められたならば A 線の酸化量は B 線の酸化量よりも小と

第 3 圖 酸化曲線

なり、從つて斯る値を以て酸化の大小を表さんとする事は甚だ無謀である。故にかゝる數値よりも此の曲線の傾度、即ち酸化作用の速度と云ふ事が重大である。

然らば第 3 圖の如き際には A 線の壽命は B 線の夫よりも小であるかと云ふに、實驗の結果は必ずしも左様では無い事を示してゐる。即ち此の傾向の比較的に大きい TA 及び TC 線は共に他の線よりも大なる壽命を示してゐる。

勿論著者の實驗では其の壽命試験に際して t_2 に近い時間を置いて、數回の斷續加熱を繰返してゐるから、上の理由を直に用ひる事は出来ない。加熱したものを冷却すると、1 度出來た酸化皮膜が收縮の際に其の附着狀態を異にし、再度の加熱に當つての酸化作用の様子は連續加熱の場合とは異つて來るのである。即ち第 4 圖 o a b c d 曲線で示した様に、不連續部分の bc を経て後 ed なる一定の傾向となる。

第 4 圖 酸化と電流

故に著者の行へる壽命試験の如く斷續的加熱に對する電熱線の壽命を酸化作用より推定するには、bc なる部分と cd なる部分とに相當する 2 つの量を合せ考へねばならないのである。然らば此の兩方面の觀察から電熱線の壽命の豫測を爲し得るかと云ふに、之亦尙不充分である。壽命試験中に生ず

る抵抗の増加即ち電流の減少を圖示すると、第 4 圖の I 曲線の如くなる事は既に發表してある。酸化作用の點より考ふれば、 ΔO_1 が ΔI_1 に又 ΔO_2 が ΔI_2 に比例すべきである。從つて o a b c' d' の如き曲線となるべきであるが、實際は o a b の如く現はれる。此の實驗は非常に正確に行はるべきであるのと著者の都合とに依つて、發表せらるべき程の自信を持たない内に中止せねばならなかつたので甚だ残念に思つてゐる。只上に示した傾向のある事を認めた位に止める。

故に上の 2 つの定性定量的の判斷より壽命を決定せんとする事は、尙不充分と云はねばならぬ。

以上の考察には、壽命が酸化作用のみで定ると云ふ事の外に、酸化作用は總ての部分で均一に行はれるとの假定をも含めて有るからではあるまいかと思はれる。

實驗の結果第5圖Aの如き酸化曲線を得たとすれば、之より同圖Bの如き曲線は容易に求めら

第5圖 酸化曲線

れる。斯る曲線よりは『酸化作用は平均すると一定の速度で進展してゐる』とは云へ様が『各微小部分に就ては均一に酸化作用が進行してゐる』とは云ひ得ないのである。

一微小部分に比して非常に廣い表面積を持つてゐる電熱線の酸化試験に當つて、此の一小部分が

特別なる酸化作用を呈したとて、上の如き實驗の結果には現はれて來ないものと考へねばならぬ。然るに實驗の表には現はれて來ない所の此の微小なる作用が壽命に對して重大なる役目を演ずる事は、千里の堤に於ける蟻穴にも比すべきかも知れないのである。即ち天秤を以て測定した酸化試験の結果を以てしては、完全に壽命を推定する事は出來ないのである。

然らば此の點に關する觀察を如何にして行ふかと云ふと、著者にも名案がない。只實際上の立場から見ての理想に近い試験法に就ては、後章に詳述する事にする。リボン狀の電熱線を加熱して、其の縦斷面を顯微鏡で觀察し、酸化皮膜の進展の様子を各部分につき調査して見たとして、果して其の觀察が容易であるか否かは問題である。

以上の如く線の一部分に酸化作用が特別に進展した事がホットスポットの一因であるとも考へられるが、單に之のみならず他にも原因が考へられるのである。即ち線の横斷面が各部一樣なりや否やと云ふ事が其の1である。形の變化は輻射面積に影響し、面積の大小は抵抗從つて發生熱量に影響するのである。而し今日の製造の技術を以てすれば、幾分の不均一があるとしても、それが温度の分布状態に非常に影響する程度とは考へられないのみならず此の事は實驗の結果によれば、1%以下の精密さを有する温度の測定器具では認められなかつた。

茲に問題とすべきは、線に曳く時に受けたと思はれる所の外傷である。直徑をマイクロメータで測定しても均一と考へられる直徑の線が、擴大鏡の下では第6圖の様な傷を持つてゐる事が

第6圖 疵

屢々である。斯の如きは相當に害を爲すものと思へねばなるまいと思はれる。電熱線が金屬光澤を持たねばならぬと云ふ一理由は、實に此の外傷の有無

の點檢が容易なるに在ると云はれてゐる。殊に細い線では然りである。併し乍ら若し一擴大鏡を準備するならば此の問題は直に解決されてしまふ事で、重大視すべき問題では無い。

尙更にホットスポットの原因として考へられる事は、線自身の性質が各部一樣均等であるかどうかと云ふ點である。若し不均等な部分がありとするならば、夫がホットスポットの一原因たり

得る。之には合金を造る爲の爐やインゴットを造る時の工程の如何が問題となるのではあるまいかと考へられる。

何故にホットスポットが出来るかと云ふ事に就ては、上述の如く色々の理由が考へられるが、此の點に關して次の様な觀察を行つて見たらどうかと考へられる。同種の電熱線數本を並列に加熱して、ホットスポットらしいものが出るや否や直に其の部分に顯微鏡で觀察すると、此の部分に外傷或は内傷が無かつたかどうか、組織が著しく異つてはゐないかどうか、或は又酸化作用の進展の様子に變調は無いかどうかと云ふ點が幾分でも明瞭となるのではあるまいか。更に又同種の電熱線を數本加熱して、ホットスポットの比較的初期より斷線に至る迄の間の種々なる溫度に於ける顯微鏡試驗を行つて見ると、此の間の消息に對して得る所はあるまいかと考へられたが、著者はその實驗を行ふ暇を持たなかつたので今此處に之以上立入る事は許されない。

次に Fe 以外の夾雜物の影響に就て考へると、Mn は各線共に相似た量で含有され、Al は痕跡より 4% 迄變化してゐるが之が何等かの影響を持つてゐるかどうかは一寸見出せない。又表に現はれた様な C の量では、壽命に惡影響ありとは思はれない。只茲に些か問題とするに足るのは Si の含有量である。Si の含有量に對する壽命の關係を曲線にすると第 7 圖の如くなる。此の含有量

第 7 圖 シリコンと壽命

は多い所でも 0.75% と云ふ程度であるが、圖によると壽命は Si の増加と共に大となる様に思はれる。故に今少し多量の Si を含有せしめて試験を行つてみたらどうかと思ふ。

此の點に關聯して問題とされる事は酸化皮膜の性質と云ふ事である。一般に TA 及び TC 線は壽命が長い、共に最も多量の Si を含有するのみならず、其の酸化皮膜の著しく堅牢である點が又一大特徴である。線

夫自體も剛直な様であるが、其の酸化皮膜は甚だ堅牢で、酸化試験に供した線は總て研磨紙で其の酸化皮膜を磨き落されたが、此の際 TC や TA 線に對しては著しい困難を感じたのである。化學的にも亦甚だ堅牢で如何なる酸にも耐へ、王水に浸漬し之を加熱する時に初めて此の皮膜を取り去り得ると云はれてゐる。此の性質が TA 及び TC 線の壽命を長からしめるのではあるまいかと思はれ、又此の性質と Si との間には何等かの關係が存在するのではあるまいかとも思はれる。

若し最初の加熱に依つて發生した酸化皮膜が、緻密堅牢で様々線の表面を被覆し、次第に酸化作用の内部進展速度を減少するならば、即ち酸化の時間に對する曲線傾度が次第に小となるものならば、理想的の皮膜と云はねばならぬ。色々の電熱線に就て觀察すると、此の皮膜が粉の如くになつて飛散するものもあり、又薄膜の形で脫離するものもある。

特に硫黃の分析を試みたけれども、分析表には數字として現はれる程度ではなかつた。ニツケルの粒をハンマーでたたくと、割目を生じてつぶされるものと然らざるものとに分れた。後者のみを撰擇してインゴットを造ると線の延びが非常に良いと云はれてゐるので、此の兩種のニツケル

の分析を行つた。割目の生ずる方には硫黄を含んでゐるとの報を、東北帝國大學金属材料研究所の山田助教授より得たので、外國製品に對して硫黄の含有量を試験してみたのである。茲に山田助教授の御厚意を深謝する。

鐵の量が多くてクロームの量の少いのは、クローム C 及びニクローム SS 線の特徴であり、其の反對の傾向をニッケローム No. 1 及び No. 2 に見出す。前者の壽命の短い事に對し、後者の酸化量の少い事が夫々の特徴である。

(IV) 電熱線の品質鑑定法

之迄の實驗並に上述の考察の結果より、次の如き試験を電熱線の品質鑑定法として採用しては如何かと思ふ。

(1) 製品の均一性

低溫度用なると高溫度用なるとを問はず、某社製某品と云ふものが、常に同品質である事が望ましい次第である。此の製品の均一性と云ふ事の内には、大別すると (a) 化學的 (b) 物理的の兩方面が含まれてゐる。前者に對しては化學分析を行ふ事或は顯微鏡検査を行ふ事等が必要であらう。化學分析は甚だ面倒かと思はれるが、顯微鏡の検査は割合に容易に行はれるのではあるまいか。併し之には其の裝置が少し高價かと思ふ。

(b) 物理的の性質と云つても茲では主として寸法の均一と云ふ事を意味し、之には疵の有無と云ふ事も含まれる。寸法と云ふ點では出来るだけ規定の線徑規に一致せしめたいが、實際の線は幾分か異つてゐる。其の異り方に 3 様ある。(i) は一様に太すぎるか細過ぎるかであり、(ii) は部分々々によつては太過ぎたり細過ぎたりであり、(iii) は斷面積は一様だがその形狀が變つてゐる事である。此の 3 種が重り合つてゐるのが普通であるが、中には孰れかの一方に特に著しい變化を示すものがある。

(i) は壽命と云ふ點に對しては影響せぬであらうけれども、設計上から考へると誤差の原因となる。勿論線の直徑を實測する事によつて此の誤差は取除く事が出来る。

(ii) は部分に依てその抵抗を異にし、冷却面積に影響するのであるが、此の兩者が加働的作用を爲して、溫度分布を不均等ならしめるわけである。従つてホットスポットの原因を爲し、誠に望しからぬ事項である。

(iii) は矢張り溫度分布に影響するが、大した問題とはならない。

日本の製造家は此の點に關しても勿論、インゴットの製造からダイスの優劣其の使用法の適否に至る迄充分に考究して居られる事と察するが、現在の製品に關する限り外國品に比べて遜色がある。

以上の 3 項の調査には、極く細い線に對しては顯微鏡の様なものを用ひる必要があるかも知れないが、B & S # 23 あたりの太さになると測微計で充分である。何故ならば此の器具で測定出来る程度の不均一度は、設計並に壽命に對しては考慮するに當らないからである。

試験すべき電熱線の最初と最後との兩端を少し許り切取り、出来るだけ多くに區分して其の箇所の直徑を直角の兩方向に於て測定する。其の平均の値より (i) が判定出来る。之に依つて線の最初と最後との兩端に於ける直徑の差も求められる。又(ii)及び(iii)の測定も出来るわけである。

今日市場に現はれてゐる様な程度の酸化皮膜は、此の寸法測定に對しては大なる妨害とはならない。ニクロームSS線は矢張り酸化してゐるが、其の直径の正しい値を持つてゐた事は、著者の感服した點であつた。薄膜の存在が直径の均一性を増すとも考へられないし、又皮膜の存在する線で直径の非常に異なるものもあつた。

疵の有無に就ては今日の所外面の疵に就て觀察するより外に、内部の疵の檢定法は無い。電氣抵抗の變化に依つて測定する事は實際上不可能であらうと思ふ。皮膜の抵抗は甚大であるからである。外面の疵は肉眼でも良いが、細いものには擴大鏡を用ひる事が便利である。

(2) 酸化

云ふ迄もなく酸化作用が小である程良いとせねばならぬが、次の諸點が問題である。

(a) 化學分析の結果鐵の含有量を知り、之より速斷はされない。又鐵の含有量を1%以下に保持すべしと云ふ點も問題とされる。

(b) 或る一定温度で一定時間加熱した場合の酸化總量の大小を以て、線の壽命を判定する事は至難である。B & S# 23 線が1200°C, 5時間加熱後の酸化度が、2.5~3 庭/平方糎以下の値である時には、斯る酸化量以下の原因が重要な影響を爲してゐると考へられる。

(c) 天秤による測定では、平均した酸化の量的關係しか求められない。

(d) 酸化皮膜の性質をも觀察する必要がある。堅牢なる皮膜は壽命を長からしめるものと考へられる。

以上の理由より著者は、酸化に對する調査を次に述ぶる如く、電氣抵抗の測定と合併して行ふが適當かと考へる。

(3) 電氣抵抗と其の温度係數

鐵、ニッケル、クロームの合金としては100 マイクローム/立方糎位が最大値とされてゐるが、表に示した様な成分の市場電熱線は著者の實驗の結果によると次の如くなる。

種 類	比 抵 抗(10^{-6} オーム/立方糎)	温度係數($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $20^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$)
高 温 度 用 電 熱 線	112 ~ 115	100 ~ 110
低 温 度 用 電 熱 線	114 ~ 118	140 ~ 185

但し TA 及び TC 線中には非常に比抵抗の高いものがある。

故に抵抗の温度係數(低温度即ち 20°C 乃至 400°C)を測定する事に依つて、低温度用電熱線を高温用電熱線と區別する事が出来る。

電氣抵抗の温度に對する關係を求める事は、其の温度係數を見出して品質識別の一助と出来るのみでなく、設計上に必要な各温度に於ける抵抗値を示す事になるから、此の實驗は誠に必要であると思ふ。然し之を真空中又は他の不活發瓦斯中に行ふと云ふ事は甚だ困難であるから、實際問題としては空氣中で酸化作用を受けつゝ行ふが便利である。此の際加熱の時間を出来るだけ一定にしないと、酸化作用の影響が雜多になる憂がある。時間はなるべく長く取る方が心配は少い。

第 8 圖 温度と抵抗

即ち酸化の影響を受けない時は第 8 圖 $oa'b'c'$ d' の如くなるべき筈の曲線が、酸化の爲に oab cd の如くなる。然し實際使用する状態では、其の抵抗は酸化の影響を受けてゐるのであるから、 $oabcd$ の曲線に依り設計する方が正當である。又温度係数を $c'd'$ より求むり代りに cd の傾度より求めても殆んど誤差の無い事は云ふ迄もない事である。400°C 以下では酸化はしないものと考へても支障はない。⁽¹⁾

更に此の實驗を少しく改めて、品質判定の資料を得るには、抵抗記録計と自動開閉器とを使用して、最初或る高温度（例へば 1200°C）に調節した端子電圧を一定に保持しつつ、一定時間（例へば 5 分）毎に電流を切斷して線を冷却せしめ、次の一定時間（例へば 1 分）毎に再び電流を通ずる。之を繰返して各段に於ける始と終との抵抗値を記録せしめる。或る一定時間（例へば 5 時間、即ち 50 回の斷續加熱）の後此の記録を検査して、抵抗の變化の最大なるものが尤も劣等品であると云ふ事が出来る。

抵抗の變化（増加）の著しいと云ふ事は、電熱器具の定格容量に影響すると云ふ外に、其の壽命にも深い關係を持つてゐる。前述の如く天秤で測定した酸化量の内には、壽命に著しく影響し

第 3 表 壽命試験に於ける電流及温度の變化

品 種	ホットスポットの出来る時			斷 線 せ ん と す る 時			ホットスポットの 數
	電 流 比	温 度 比	時 間	電 流 比	温 度 比	時 間	
クローム A	91.5	92.5	20	—	—	—	1
ブライトレ	91.4	92.5	17	89.0	93.5	22	1
ニクローム IV	89.0	93.8	27½	82.0	86.7	32	3
ニツケローム No.2	92.0	93.5	2	85.5	87.6	17	1
T A	100.0	96.0	5	95.0	93.6	18	1
T A No.1	87.0	81.0	52	78.0	78.0	55	4
T A No.2	86.5	93.5	50	81.0	92.0	54	2
クローム C	81.5	90.0	17½	67.0	76.0	24	3
	—	—	—	91.0	89.5	2	2
グロレー	87.5	91.5	17	87.0	90.0	18	1
	82.5	90.0	16	70.0	80.0	41	2
ニクローム SS	81.0	87.5	18	74.5	84.0	30	2
	—	—	—	80.0	87.0	5	3
ニツケローム No.1	90.5	85.5	18	88.8	83.5	28	1
	89.0	85.0	17	85.5	84.0	20	1
T C	87.5	92.5	34	74.0	80.7	64	2
T C No.1	89.5	91.7	25	75.5	84.0	73	1
	87.0	92.5	19	84.7	89.0	30	1
T C No.2	90.5	93.0	39	76.5	87.5	79	2
	89.0	92.0	17	82.0	84.0	67	4

(1) 照明學會雜誌 12 卷 6 號 5 圖

てあると思はれる他の原因が含まれてゐないのであるが、斯くの如くして測定した抵抗の變化の内には斯る量をも含有してゐるのである。

電熱線の壽命は、加熱中の連續酸化による消耗による第4圖の曲線の ΔI_1 に相當する事項と冷却後再加熱當初に現はれる不連續的變化による ΔI_2 に相當する事項との2原因に依て、多くはホットスポットを生じ此の部分の加働的作用によつて定るものと判斷せられる。此の前者の原因に關しても矢張り抵抗の變化を以て測定するが正當であり、且之は容易に行ひ得る實驗であつて、特別の裝置を必要としないのである。勿論此の酸化速度に相當する所の曲線の傾度は、長い時間の中には變化する筈であるが、今日の所之を最初の數時間に於ける加熱による曲線より求むる外なく、又その程度で充分である。此の値は直徑並に酸化皮膜の狀態に依つて變化するものと考へられる。

此の連續的並に不連續的の兩變化を合せ考へると、其の抵抗の總變化の大小に依つて品質鑑定の一資料となるわけである。即ち總使用時間に相當する抵抗の變化 R_c と、斷續回數より生ずる抵抗の變化 R_d との和が或るパーセンテージに達すると、其の壽命がつきるわけである。此の壽命線に就ては問題の存する所である。著者の實驗から計算してみると第3表の如き結果が得られ、

第9圖 壽命と電流

之を時間に於ける關係で示すと第9圖の如くなる。但し第3表及び第9圖に於ては抵抗の變化の代りに電流の比を採つてある。但し R_c のみ或は又 R_d のみより定る壽命より求めた抵抗の變化量が一致するかどうかは疑問である。此の實驗は總て約5時間毎に1度冷却をした場合である。

ホットスポットの出來始まるのは大體最初の電流値の90%位になつた時であり、斷線する場合には80%前後である。上の關係はホットスポットの出來る時に應用せられる事であるが、極く大體の見當をつける爲には斷線壽命に迄應用してみるが良いと思はれる。1度ホットスポットが出來ると、特に數箇所同時に出來る様な場合には正密なる測定の方法がない。抵抗の變化を測定する事によつて之等の影響も含有せしめるより外に方法は無い様である。

尙又此の考は凡て 1200°C に於ける壽命試験の結果に立脚してゐるから、之を常用溫度に於ける壽命に應用して良いか悪いかは問題である。 850°C に於ける實際試験を始めて100時間餘りの後中止するの事情に立入つたが、此の程度では大した變化はいづれの線に對しても認められなかつた。

(4) 其の他の事項

比量、抗張力或は膨脹係數等に關しては別に述ぶる所はない。

附記 本實驗に對して中村學長、加藤與五郎博士、山本勇博士、堀岡技師等の御援助並に八木、荒井、樋口三君が實驗補助に當られし勞を深謝します。