

ジュメット線

平岩愛之輔⁽¹⁾ 山田貞夫⁽¹⁾

Dumet Wires

By Ainosuke HIRAIWA and Sadao YAMADA

Material Engineering Dept., Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.

The production of dumet wire in Toshiba has a fifty-year history, with continual improvement of its quality and progress of related technology. One prominent item of the progress is the development of the "brassless hot drawing" for production, which has eliminated the defects embodied in the classic brazing method—the gap left between the copper layer and the core material and the exposure of the core material. Another improvement is the contrivance of new equipment for testing and inspection.

The paper makes a discussion on some of the problems regarding the dumet seal, presenting a general description of Toshiba dumet wires.

〔1〕 ま え が き

金属とガラスの封着技術は古い歴史をもっており、1800年末期には電球の製造、それに続く電子工業の発展により重要性を高めてきた。これら管球に要求される気密性はガラスをその容器として不動の位置にすえ、そのため、管内と管外を電気的に結合することは不可欠のものとなり、管球の構造の高度化に伴い封着金属材料もまた開発と改良を余儀なくされた。

文献⁽¹⁾⁽²⁾によると、金属とガラスの封着は、1821年 Davy より白金と軟質ガラスとの組合せですでに試みられており、1879年にはエジソンの白熱電球の封入線として白金が用いられている。

白金が封着金属として第一に取り上げられた理由は白金の熱膨張係数が軟質ガラスのそれとよく一致し、また降伏点が高いところから封着時に生ずるひずみを吸収し、封着を完全かつ容易にするとところにある。

しかし白金は高価なため、特殊用途としては向くとしても量産品種には用いられず、その代用品の研究が行なわれた結果として1913年 Fink および Eldred⁽³⁾ によってジュメット線が開発された。

ジュメット線は Ni 42%, Fe 58% の鉄—ニッケル線を心金とし、これに 18~28% (重量比) の銅を被覆し両者の接合を十分に行なわせた一種の複合金線である。その後用途に応じ軟質ガラス用封着合金としては鉄—ニッケル合金の各種や Sylvania #4 として知られる鉄—ニッケル—クロム合金⁽⁴⁾⁽⁵⁾が開発され、硬質ガラス用として Kovar と称される鉄—ニッケル—コバルト合金など⁽⁶⁾⁽⁷⁾優秀な材料が開発されてきたが、歴史的に古いジュメットは依然として気密封止用封入線として今日も広く使用されている。この事実がジュメット線が封着材料としていかにすぐれているかを物語っているが、その理由は、元来ジュメットが理想的な封着金属である白金の代用として開発されたものであることを考えると、当然であるといえる。

〔2〕 東芝ジュメット線

東芝におけるジュメット線の製造は 1915 年ごろの試作期を経た後、GE から提供された技術をもとに Brazing 方式によって本格的生産を開始し、以来約 40 年間は同方式を採用してきた。しかし生産量の増加および管球の多品種化にともなう封入線製造方式の高能率化によって、従来見られなかった Brazing 法によるジュメット線の欠陥が目立ち、スローリーク事故が多発したため、1955 年ごろから製造法の再検討を行ない、Hot drawing 方式⁽⁸⁾を経て現在の Brassless hot drawing⁽⁹⁾ 方式を確立した。この間製造法の改良とともに品質管理の強化など品質の向上を行なった。

2.1 東芝ジュメット線の構造

図1に東芝ジュメット線の断面構造を示す。図中心金としては 42% Ni の鉄—ニッケル二元合金を使用し、これを銅層で被覆し銅表面を酸化しち密な亜酸化銅膜 (Cu_2O) を形成させ、さらに酸化膜の脱落とか大気中放置による過酸化から保護する意味で、最表面に

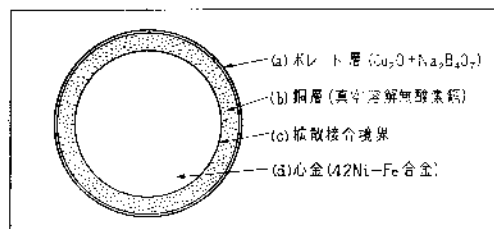


図 1. 東芝ジュメット線の断面構造図
Diagrammatic representation of cross section of Toshiba dumet wire

- (a) Borate layer
- (b) Copper layer
(Vacuum-melted copper)
- (c) Diffusion layer
- (d) Core alloy (42Ni-Fe)

はほう砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) の薄膜を焼きつけてある。なお銅層の構成比は重量で 20~28%, Cu_2O と $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ で構成させる最表面のボレート層は実測例では約 0.3~2.0% の範囲である。次にこれらの構成成分について述べてみる。

2.1.1 心金 表1に東芝ジュメット線の化学成分を示す。42% Ni-Fe 合金は古くから Guillaume ら⁽¹⁰⁾によって研究され、金属には例外的な非直線的な熱膨張特性を持つ材料として封着合金材料の基礎をなしたもので、これに他元素たとえば、Cr, Co を添加し改良したのが、前述した Sylvania #4 や Kovar である。ジュメットは気密封止用材料であるから熱膨張特性は安定でなければならず、したがって特に心金の熱膨張特性は変動なく安定でなければならない。東芝では心金、鉄-ニッケル合金は溶解から加工に至るまで一貫して作られるが、表1の Ni 成分比はこの点で重要視しなければならない。図2は当社製心金の Ni 比率を表1の Ni 成分比の範囲の両極端に近くとった場合の熱膨張特性の変化を示すものであるが、これによると低温領域では両者に若干の差が生じており、転移点も多少ずれているが 400°C 以上になるとほとんど差がなくなってくる。金属とガラスを封着した場合に生ずるひずみは、Kohl らの文献にもあるように冷却過程でガラスの軟化点を過ぎてから生ずるもので、封着の可否は封着相手金属においても、ガラスの最高徐冷温度において論じられるのが現在の定説である。このように考えると、図2の両曲線は 400°C 以上で、ほとんど合致しているのであるから、軟質ガラスの最高徐冷温度約 450°C では、ほとんどその封着特性に差異は生じない。したがって現在の東芝ジュメット線は、この点についてはきわめて安定な材料と考えられる。またこの化学的成分規格は JIS H 4531 複合封入線用鉄-ニッケル合金棒を満たすことはいうまでもない。

2.1.2 被覆銅層 東芝ジュメット線は表2に示されるように真空溶解無酸素銅管を使用している。ジュメットの銅層は熱膨張特性とともに封着には大きな役割をつとめる。金属とガラスの接着機構は金属酸化物がガラスにぬれ、さらにガラスに固溶し金属とガラスの双方と強固に結合し一種の橋を構成していることは現在定説となっている⁽¹⁾⁽²⁾。したがって表面酸化物の性質、さらにこれを形成させるべき銅層の性質がジュメットの優劣を支配することは言を待たない。ジュメット用として銅を選ぶとすると、普通銅では Cu_2O を固溶しているため加熱による水素ぜい化現象があって使用できず、また脱酸銅では不純物に対するコントロールは十分であるが、余分な脱酸剤、たとえば、りん、ひ素などが残留していると酸化膜はく離という不都合があるため、品質的に問題がある。東芝ジュメット線は、これらの諸点を検討したうえで表2に示したように、純度およびガス含有量の少ない真空溶解銅管を用い上述の欠点を除外するとともに、熱伝導性、電気伝導性を向上させている。

表 1. ジュメット心金材料の化学的組成

Chemical composition of dumet core material

化学成分	Ni	C	Mn	Si	S	P	Fe
重量比 (%)	41.0~43.0	0.15max	0.75~1.25	0.3max	0.02max	0.02max	残部

表 2. ジュメット用銅管の化学的組成

Chemical composition of copper tube for dumet

化学成分	Cu	P	S	Pb	O ₂
重量比 (%)	99.98min	0.001max	0.001max	0.001max	0.002max

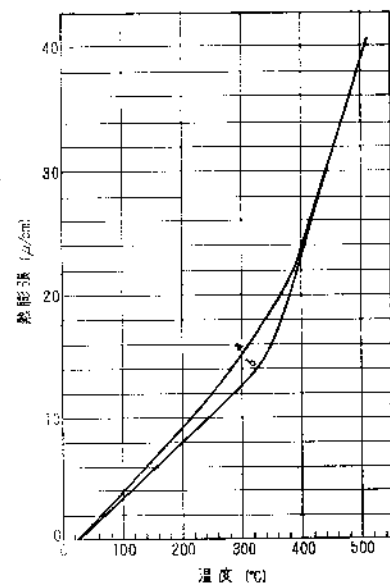
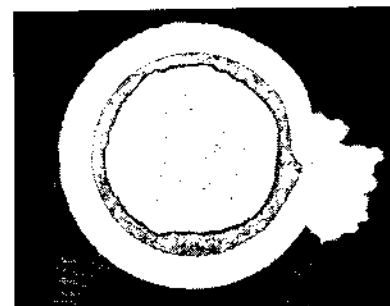


図 2. ジュメット心金 (42% Ni-Fe 合金) の熱膨張曲線

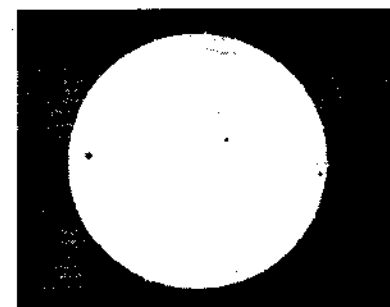
Thermal expansion curves of dumet core, 42% Ni-Fe alloy

- (a) Ni percent: 42.61% weight
(b) Ni percent: 41.7% weight

2.1.3 心金と銅層の界面 東芝ジュメット線の特徴として、心金と銅層の界面があげられる。銅と心金との接合は東芝独自の Blassless hot drawing 法によって相互拡散による強固な金属結合による。これは両層の中間に黄銅および一部の合金層を生成する Brazing 方式のジュメット (図3) に起こる brazing 時に生ずる収縮孔、銅層はく離、偏心および心金露出などの欠陥 (図4) を除き、また境界面をスムーズにし均質の製品を得ることのできる画期



(a)



(b)

図 3. ジュメットの断面写真

Microstructure of dumet cross sections (×100)

- (a) By brazing method (Containing brass interline)
(b) By hot drawing method

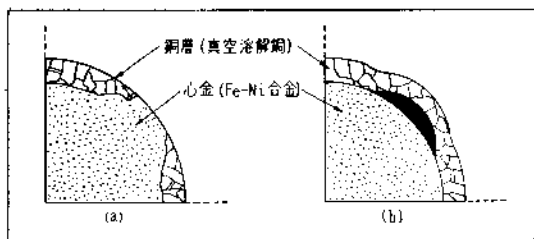


図 4. ジュメット線の欠陥部断面
Diagrammatic representation of defects in brazed dumet wire
(a) Exposure of core material (cross section)
(b) Gap between copper and core material (cross section)

的な特徴でもある。しかも封入線材料としては、中間に黄銅およびその合金層を含まないので電気伝導性は良好になり、管内で亜鉛の蒸発のおそれもなく安心して使用できる長所も備えている。

2.1.4 表面酸化層 前に述べたように、表面酸化層が金属-ガラスの封着機構に大きな役割をはたしていることはPartridgeら⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾によって、ほぼ定説化され、近年電子顕微鏡や、X線マイクロアナライザによる検討で一部実証されつつある⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。したがって気密封止用金属ではその酸化層が次の性質をもたなければならない。

- (a) ち密で下地金属と強固に結合していること。
- (b) 厚さが均一で、組成的にも均質であること。
- (c) ガラスによくぬれること。
- (d) ガラスによく溶け込み、強固に結合すること。

銅の酸化物は Cu_2O 、 CuO の2種類がよく知られているが、このうち Cu_2O 亜酸化銅は (a)、(d) はきわめてすぐれているが、 CuO はこれに劣り、しかも Cu_2O との接着強さが弱いため両酸化層の間にはく離が起こるという欠点をもっている⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。したがって銅を用いたガラス封止ではこの CuO の生成をできるだけ抑制しなければならない。そのためには予備酸化における温度範囲の選定などの条件の検討はもちろん、貯蔵による酸化、ガラス封止時の過酸化などについて十分に注意を払う必要がある。

ジュメット線は、この点については銅面を予備酸化した後、ボラックス（ほう砂）を被覆して酸化膜を保護しているの、貯蔵中に酸化層の変質することはまずないが、保護層が吸湿するおそれがあるので乾燥状態で保存しなければならない。このボラックスは以上のような酸化層の保護をするだけでなくガラス封着時にはガラスにぬれるまでの酸化防止およびガラスによる酸化層のぬれを良くし封着を容易にする利点ももっている。

次に酸化層の厚みと封着性については諸説⁽⁴⁾⁽¹⁶⁾があるが、酸化層が薄すぎるとガラスへの溶解が少なく、酸化物とガラスの結合力が弱くなりかつ、焼込みによって金属下地面が直接ガラスに接するようになり気密性は良好だが機械的強さは著しく低下する。逆に酸化層が厚い場合には封着時、焼不足を生じやすく、残留酸化層が厚くなって今度は中間酸化層からスローリークするなど薄い場合と同様完全な封着は得られない。これらの問題は予備酸化膜の付け方にもあるが、封着工程にもかかわらずのことで、目的に応じて酸化層厚を考慮しなければならない。東芝ジュメット線は、十分な管理のもとに予備酸化およびポレーション（ほう砂焼つけ）を行っており、また用途に応じた酸化層厚のジュメット線を供給するため、酸化層厚を外観の色で4段階に区分している。区分の内容は表3に示してあるが、K, LK, LL, LMの順に濃くなって行き、酸化層厚も増加している。酸化層の厚みの増加は絶縁抵抗の増加となっているので、単に封着問題だけでなく、異種金属との接合が行なわれる封入線の材料として使用される場合には溶接方式による選択の必要が生じてくる。また東芝ジュメット線は熱および電気伝導度、封着特性を考慮し銅の構成比をA, Bの2段階に分け、おのおの20~25%, 23~28%の範囲になっているから、この点も考慮し、目的の封止に適した色を選ぶことが封止を完全にするために必要である。きわめて一般的にいえば、

(a) 封入線の溶接を考慮した場合。ジュメット表面から電流を流す場合には、絶縁抵抗の低いKまたはLKが適当であり、ガス溶接またはジュメット線切口から電流を流す場合には全品種とも使用できる。

(b) 封止工程を考慮した場合。ジュメット線がガラスにぬれてから良く焼き込める場合はLL, LM、あまり焼き込めない場合はLK, Kが適当である。また0.3mm径以下の細いジュメット線を使用する場合には熱容量が小さいため、ガラスと接触する前後に焼きすぎになりやすいので銅比率の高いA線を用いる。

2.1.5 ほう砂層 最外側にあるほう砂層は上にのべたように、銅酸化層を被覆しこれを保護することを目的として焼き付けられているが、ほう砂自体の融点は741℃で下地を保護するから封着時、ガラスにぬれる前の過酸化を防ぎ得るが、これ以上の温度になると保護性を失う。またほう砂は高湿度のふんい気にさらすと吸湿しやすく、また温水には容易にとける。したがってジュメット線は保存に際して、乾燥したふんい気に置くことが必要である。

2.2 東芝ジュメット線の特長

2.2.1 熱膨張係数 熱膨張係数はガラス封着ではきわめて重要なものである。金属とガラスの封着時に生ずる応力は主として両者の熱膨張の差によって生じ、封止後の冷却状態で残存する応力が封止にあずかるおのおの耐力を越えれば破壊が起こる。

金属とガラスの最大の耐力を比較すればガラスのほうがきわめて

表 3. 東芝ジュメット線の物理的性質
Physical properties of Toshiba dumet wires

種 類	色表記号	銅 比 率 (重量%)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ cm/cm/°C)		熱伝導度 (cal/cm ² s°C)	電気抵抗率 (室温) ($\mu\Omega\text{cm}$)	絶縁抵抗 (k Ω)	備 考
			軸 方 向	半径方向				
DUX-A 原則として 0.3mmφ以下に 適用する	K	23~28	57~63	87~100	0.4	6~9	300 未満	抵抗溶接導入線用
	KL	"	"	"	"	"	500 未満	"
	LL	"	"	"	"	"	1,000 未満	抵抗ガスまたはアーク溶接導入線用
	LM	"	"	"	"	"	1,000 以上	ガスおよびアーク溶接導入線用
DUX-B 原則として 0.35mmφ以上 に適用する	K	20~25	57~63	87~100	0.4	7.5~10.5	300 未満	抵抗溶接導入線用
	LK	"	"	"	"	"	500 未満	"
	LL	"	"	"	"	"	1,000 未満	抵抗ガスまたはアーク溶接導入線用
	LM	"	"	"	"	"	1,000 以上	ガスおよびアーク溶接導入線用

小さいから、このような残存応力によって破壊するのは主としてガラスである。

ガラスは元来圧縮力に対しては若干強く 10 kg/mm^2 程度の応力には耐えるが、引張応力に対してはきわめて弱く 1 kg/mm^2 程度の応力しか耐えることができない。したがって、金属とガラスの封着を完全にするためには、まず両者の熱膨張特性を近似させることがよいとされる。この考え方に基いた封着は、前にのべた白金と軟質ガラス、Kovar と硬質ガラスの組合せで実施され、整合封着と呼ばれているが、白金の場合にはさらに白金自身が低い降伏点を持ち、みずからの plastic flow によって応力を吸収しガラスの破壊を防ぐという利点をもっている。この考え方は後日、封着手段として開発された金属側の形状をナイフ刃状、はくまたは細線の形状としたりして応力を吸収する "Housekeeper seal" を生み出した⁽¹⁷⁾。

ジュメットの熱膨張係数については Hull と Burger⁽⁴⁾ および岸井氏⁽¹⁸⁾の測定結果があり、複合金金であるため特異な特徴を示して軸方向で $61 \sim 68 \times 10^{-7} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$ 、半径方向で $80 \sim 100 \times 10^{-7} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$ と方向により異なる値となっている。したがって、軟質ガラスの熱膨張係数と比較すると半径方向では両値はほぼ一致するが、軸方向ではかなりの開きがあり、この方向に対しては不整合となる。しかし、実際にはガラス封着材料としてのジュメットはきわめて安定な封止を完成しているものであり、これについては Hull, Burger⁽⁴⁾、高木氏⁽¹⁹⁾および岸井氏⁽²⁰⁾などの検討結果により、銅層の plastic flow による応力吸収がその原因であることが理論づけら

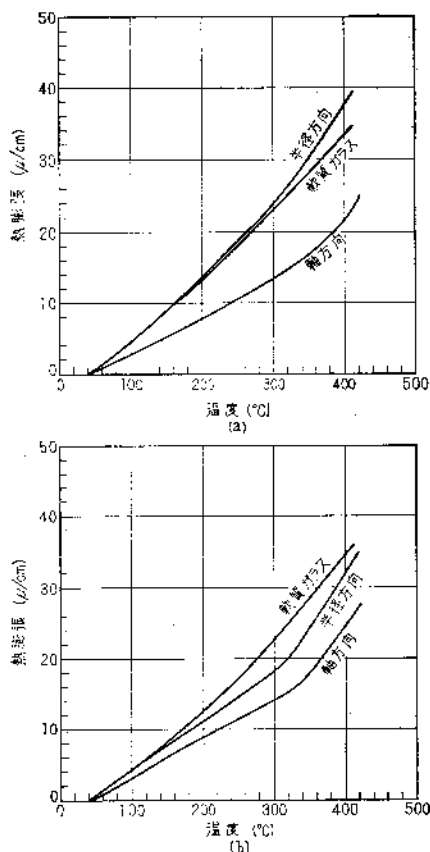


図 5. 軟質ガラスと比較した東芝ジュメット線の熱膨張曲線

Thermal expansion curves of Toshiba dumet wires compared with soft glass

- (a) Thermal expansion curves of DUX-A (Copper ratio is high)
(b) Thermal expansion curves of DUX-B (Copper ratio is low)

表 4. 東芝ジュメット線の寸法区分と機械的性質

Size classification and mechanical properties of Toshiba dumet wires

公称寸法 (mmφ)	線径公差 (mm)	重量 (100 m あたり) (g)	長さ (1 kg あたり) (m)	スプールま たは束の 標準重量 (kg)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	ステイ フネス (gcm)
0.20	±0.010	265	3,770	0.5	58 以下	15 以上	—
0.25	"	414	2,420	"	"	"	—
0.30	"	596	1,680	"	"	"	—
0.35	±0.015	812	1,230	"	"	"	—
0.40	"	1,060	944	"	"	"	45 以下
0.45	±0.020	1,342	745	"	"	"	65
0.50	"	1,656	604	1.0~2.0	"	20 以上	90
0.55	"	2,004	499	"	"	"	120
0.60	±0.025	2,385	419	"	"	"	150
0.65	"	2,799	357	"	"	"	200
0.70	±0.030	3,246	308	"	"	"	240
0.75	"	3,726	268	"	"	"	300
0.80	"	4,240	236	"	"	"	360
0.90	±0.035	5,366	186	"	"	"	510
1.00	±0.040	6,625	151	"	"	"	700

* 比重 8.435 とし算出

れている。図 5 に東芝ジュメットの熱膨張曲線を示す。(a), (b) はそれぞれ銅比率 A, B の場合である。また 30°C から 300°C の熱膨張係数は表 3 の中に示した。

2.2.2 その他の物理的性質 表 3 に東芝ジュメット線の物理的性質を示す。ジュメット線の用途は主として封入線として気密封止の内外を電気的に結合させる目的で使用されるのであるから、電気抵抗は低く、熱伝導性は良好であることが望ましい。東芝ジュメット線は前にものべたように心金と銅の間に中間層がなく、かつ銅として真空溶解銅を使用しているため、この点すぐれた特性を示す。

2.2.3 機械的性質 ジュメット線は主として導入線封着部として用いられるが、場合により、外部または内部導入線として用いられることがあり、また他種線材との溶接加工も行なわれるので、ある程度の機械的強さおよび軟さが要求される。東芝ジュメット線

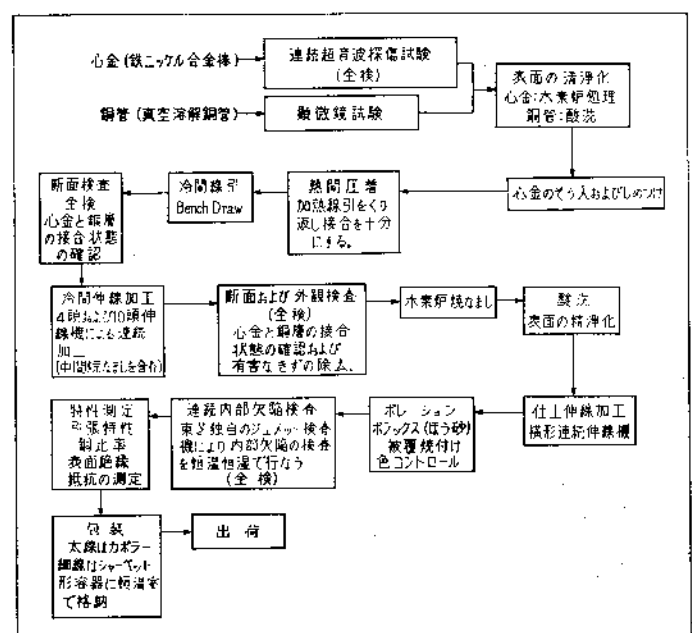


図 6. 東芝ジュメット線の製造工程

Flow chart for production of Toshiba dumet wire

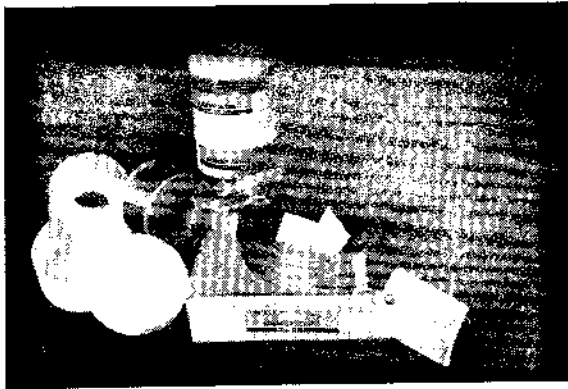


図 7. 東芝ジュメット線の包装
Packing of Toshiba dumet wire products

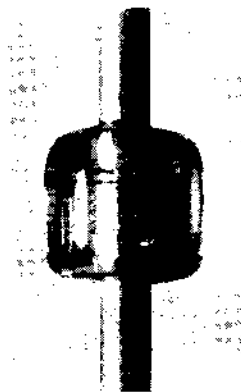


図 8. ジュメット封着時に発生したビード割れ
Bead crack occurring in dumet sealing process

の機械的性質を表 4 に示す。

2.3 東芝ジュメット線の製造

東芝ジュメット線の製造についてはすでに平岩ら⁽²¹⁾により詳細にのべられているので、ここでは簡単に実際の製造工程を説明する。

ジュメットの製造工程を大別すると、素材の準備、熱間圧着、冷間伸線および仕上げ処理の 4 工程となる。図 6 にその工程の略図を示す。

2.3.1 素材の準備 ジュメット素材は、気密封止用材料であるため、きわめて厳重に検査される。すなわち、化学的成分、物理的性質、寸法および外観の検査を十分に行ない、心金、鉄-ニッケル合金についてはさらに超音波探傷試験を実施し、内部欠陥を除去する。

検査に合格した素材は表面の清浄化を行ない、鋼管に心金をそう入し、しめつけたのち、次の熱間圧着工程に送る。

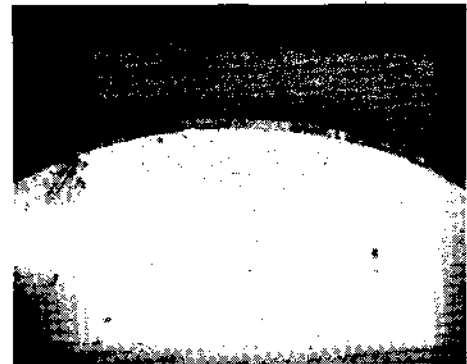
2.3.2 熱間圧着工程 ここでは、そう入を終わった材料を水素炉により加熱し線引を実施し、これをくり返して心金と銅層の相互拡散を十分に行なわせた後、次の冷間伸線加工の工程に送る。

2.3.3 冷間伸線工程 熱間圧着を完了した材料はまずベンチャーローを行なったのち断面検査を行ない、両層の接合状態が良好か否かを確認したうえで 4 頭および 10 頭の伸線機を用いて冷間伸線加工を行ない、最終的には楕円伸線機で所定寸法に加工される。なおこの工程の間でも断面検鏡を実施し、接合の健全さを確認する。

2.3.4 仕上げ処理 この工程はジュメット表面を予備酸化し、表面にほう砂を焼き付ける重要な工程で、処理条件の厳重な制御のもとで、色に応じた仕上げを行なう。



(a)



(b)

図 9. 封着ジュメットの残留酸化膜
Residual oxide film after dumet seal

- (a) Moderate thickness
- (b) Thick oxide film produced by overoxidation before pinching process

全工程を終わったジュメット線は東芝独自の連続内部欠陥検査機を用い、欠陥部を除き、その他の特性データの採取を行ない良否の判定を行なう。図 7 に示される包装を施して出荷する。東芝ジュメット線の寸法区分を表 4 に示す。

〔3〕ジュメット封着に起こる不良

最後にジュメット封着の際、発生しうる二三の問題点について述べる。

3.1 ほう砂浮きおよびはがれ

ほう砂浮きは保存中のジュメット線表面のボレート層が吸湿した場合に起こり、表面に白色粉末状の斑点が付き、ひどくなると封止の際発ぼうの原因となる。この現象はジュメット線の包装を開いて使用した残りを、そのまま保管した場合に起こりやすい。東芝ジュメット線の包装は乾燥剤を入れた密閉式であるので、そのままの状態ではかなり長期間の保存に耐える。また細線用としてはシャーベット形のプラスチック容器を採用しているので、使用残材料の再保管も容易である。

ほう砂はがれ（ボレートはがれ）はたとえば内径の小さいスプールにジュメット線を巻き換えたり、急角度にまげたりする場合に部分的にほう砂はがれる現象で、その部分では酸化膜が保護されず封止の際過酸化によるリーク原因となることがある。ほう砂はもろい性質をもっているから極端に折り曲げることを避け、スプールとしては線径の 100 倍以上の径をもつものを使用すれば安全である。

3.2 ビードガラスの割れ

ジュメットとガラスの封着は軸方向では熱膨張特性の一致しない一種の不整合封着である。したがって封止完了時には残留応力を生



図 10. ジュメット封着で発生した
表面汚染によるあわ
Bubble formation in dumet seal
by surface contamination

ずる。Hull と Burger らの研究では金属線にガラスビードを封着した場合の残留応力の分布は、両者の接合境界で高く、ガラス内部では外側に向かうに従って小さくなっている。したがってビードガラスの肉厚がジュメットの線径に比べ薄い場合には応力がガラスの耐力を越えるので、図 8 に示されるような軸に直角の割れが発生することがある。また、軸方向の応力と半径方向および接線方向の応力が合併されてスパイラルの割れを発生することもある。これら不良は上に述べたようにジュメット線径に対するガラスの肉厚が薄すぎたために起こったものであり、設計変更を行えば発生しなくなる。ガラス肉厚は安全をみてジュメット径の 3 倍以上にすることが望ましい（ジュメットの径を小さくするか、ガラス管肉厚を大きくすればよい）。

3.3 封着体の中間酸化層が厚いために起こるリーク

酸化膜の厚いジュメットを使用したり、ジュメットとガラスとが接触するピンチング（またはプレス）前に、強熱された過酸化が起こった場合、焼込みが不十分のため中間酸化層が厚く残り（図 9）、2.1.4 で述べた理由でリークを起こすことがある。この場合には、厚銅で酸化膜の薄い DUX-(B)LK または K を用い、ピンチング前の焼きを弱め、ピンチング後の焼きを十分にすれば解決される。

3.4 発 ぼ う

発ぼうの原因としては、封着時の焼きすぎによる銅層の溶融、ピ

ンチング前の過酸化による CuO の生成、極端なほう砂浮き、ジュメット表面およびガラス表面の手あかやちりによる汚染などがあり、これらの諸原因が重なる場合もあってなかなか解明は困難である。図 10 は表面よごれによる発ぼうを示すものである。

[4] む す び

以上で東芝ジュメット線についての説明を終わるが、古い歴史をもつジュメット線が今なおすぐれた封入線として広く使用されていることは真に意義のあることで、創作者に対しては今さらながら敬服する次第である。東芝ジュメット線は製造法の改善、品質の向上と一応の進歩はあるが、なおジュメット線の根本的な問題として、半導体向けジュメットの特性の改良があり、また封着時に起こる未解明の問題点を多く抱えている。今後ともこれらの問題について究明を続け、ジュメットをさらに応用範囲の広い封着材料とすることがわれわれの希望である。

文 献

- (1) J. H. Partridge : Glass to Metal Seal, p. 11 (1949)
- (2) W. H. Kohle : Material and Techniques for Electron Tube, (1956)
- (3) B. E. Eldred : U. S. Patent 1, 140, 134, 135, 136 (1913)
- (4) A. W. Hull, E. E. Burger : Jour. Appl. Phys., 12, p. 698 (1941)
- (5) W. E. Kingstone : Trans. A. S. M., 30, p. 1, 47 (1942)
- (6) H. Scott : Trans. A. I. M. E., 89, p. 506 (1930)
- (7) H. Scott : Jour. Frank. Inst., 220, p. 733 (1935)
- (8) 大沢, 宮野 : 特許, 第 242143 号
- (9) 小山, 大沢 : 特許, 第 260201 号
- (10) C. E. Guillaume : Acad. Sci. Paris., 124, p. 176 (1897)
- (11) A. W. Hull, E. E. Burger : Phys., 5, p. 384 (1934)
- (12) 池田 : 窯業協会誌, 72 [2], p. 51 (1964)
- (13) 池田, 鮫島 : 材料試験, 10, p. 97, 792 (1961)
- (14) 池田, 鮫島 : " , 11, p. 53 (1962)
- (15) 徳光, 岡本 : 日本物理学会誌, 2, p. 2 (1947)
- (16) 小関 : 電気通信学会雑誌, 31, p. 200 (1948)
- (17) W. G. Housekeeper : Jour. I. E. E., 42, p. 954 (1923)
- (18) 岸井 : ジュメット線の熱膨張, 東芝レビュー, 12, p. 265 (1957)
- (19) 高木 : Dumet 線封着に関する理論, 東芝レビュー, 5, p. 149 (1950)
- (20) 岸井 : 窯業協会誌, 66, p. 11 (1958)
- (21) 平岩, 大沢, 宮野 : 東芝ジュメット線, 東芝レビュー, 15, p. 784 (1960)