小型電子管ガラス外囲器の熱衝撃試験に関する研究*

加 賀 昌 朗** 岩 村 匡 郎**

The Studies on Thermal Shock Testing for Glass Envelope of Miniature Electron Tube

by

Masaaki KAGA and Masao IWAMURA

(New Nippon Electric Co., Ltd., Otsu)

The failure of glass envelope of miniature electron tubes in the thermal shock tests are discussed in the present paper to control the quality.

It is pointed out that the factors of failure are the stress of the glass, the degree of the glass heating, the final shape of the sealed electron tube and the stiffness of the outer pin of the stem.

In addition, we have classified the thermal shock test defects of glass envelope according to the above mentioned results.

This report is mainly discussed on various methods of thermal shock testing. Their summary runs as follows :

(1) If in making the stem the stem glass is strongly tempered, strong radial compression stress is set up, and crack occurs radially across the stem through the pin in the seal-in process. If on the other hand, the stem glass is lightly tempered, strong radial tension stress is set up, and crack occurs tangentially on the circle of the pin through the pin in the seal-in process.

The test of upward thermal shock has been introduced by inserting the stem into the electric oven to examine the thermal resistivity against the crack of the stem. The crack of the stem in this test has correlation with the crack of the stem in the seal-in process of the stem and the bulb.

(2) In order to make sure of the result of the thermal shock test of the electron tube it is recommended that both upward and downward thermal shock tests will be performed, and it is very important that failure in thermal shock will be avoided by carefully observing the difference in temperature between the upward and the downward testing.

(Received Feb. 16, 1965)

1 緒 言

小型電子管は、一般にその外囲器にガラスを使用しているが、ガラスは他の材料に比較して種々の利点を有している反面、割れやすいという弱点がある。したがって小型電子管が、市場においてガラス事故を起こさないようにするため、ガラス外囲器に内蔵されている欠陥を製造工程において検出しようとする試験方法を確立することは非常に重要である。

小型電子管ガラス外囲器の試験法として発表された研究は少ないが、G.D. Redston¹⁾は完成球の熱衝撃試験の結果と市場での事故との相関性を検討し、急熱試験よりも急冷試験の形式による方法がよい相関性を示していることを指摘し、また、熱衝撃試験におけるガラススペースのクラックを四つの型に分類し、それが起

こる原因について検討を加えたが、充分解明するには至らなかったと報告している。そこでわれわれは、小型電子管のステム単独および完成球のガラススペースのおのの熱衝撃試験法を検討するとともに、クラックを原因別に分類してみた。本報告においては、主として熱衝撃試験法に関する検討結果を述べる。

2 ステムの試験

小型電子管にはその外囲器として、ガラスのバルブおよびステムが用いられているが、これらの加工法ならびに試験法を検討する場合、結果をより明りょうにするには、部品と完成球の二つに区分して考えたほうが適切であると思われる。そこでわれわれは、まず、ステム単独での試験法を検討してみた。これは、バルブとステムとを融着させるいわゆる封入工程でのステム・クラック防止のためであり、この工程でのクラックは、通常、封入機の予熱ヘッドで起こることが多い。

* 原稿受理 昭和40年2月16日

** 正 会 員 新日本電気(株) 大津市晴嵐町2丁目

Fig. 1. Stages in production of the miniature stem. (After G.D. Redston²⁾)

したがって完成球のガラスベースのクラックに対する試験とはかなり目的が異なっている。

ステムは、Fig.1 に示すように、ガラス環と導入線を下型に保持しておき、石炭ガスと酸素との混合ガス焰で焼きながらガラスを熔融させて、上型でプレスしふたび焼いて熔融し、再度、上型でプレスして、所要の寸法に成形した後、加工の最終段で、ジェット・エアをステムガラスの表面に吹き付けて tempering を行なって仕上げられる。この tempering は、ステムガラスのひずみを調節するために行なうものであるが、封入時のクラックに対しては、われわれの経験から、この tempering がいちばん影響するように思われる。

Tempering における空気流量を変えると、ステムガラスのひずみがどのように変わるかを明らかにするため、われわれは、空気流量を零から 7l/min までの間で 1l/min ごとに、それぞれステムを30個ずつ製作し、各ステムの最高ひずみを測定し、各30個の平均を

Fig. 2. The effect of force-cooling jet air on the stress of stem.

とった結果の一例を Fig. 2 に示す。図で半径方向張力ひずみと半径方向圧力ひずみが不連続になるのは、半径方向張力ではステム周辺に最高ひずみ点が存在するのにに対し、半径方向圧力ではステムビードの内側に最高ひずみ点が存在し、このようなひずみ調節法では完全無ひずみが得られないためである。われわれの実験では、ステム製作時のガラス焼きを変えれば、同一流量の空冷でもひずみは異なってくることが判明した。これは、空冷直前のガラス温度が異なるためと考えられる。

さて、このようなひずみをもったステムが熱衝撃に対してどのような抵抗性を示すか、またどのようなひずみが熱衝撃に対して有効であるかを知るために、ひずみの値によって数グループに分けたステムを実際の小型電子管に組み、封入を行なったところ、封入工程での予熱および封入中に Fig. 3 に示すようなクラックを生じた。この実験から半径方向張力ひずみのとき

		The number of cracked stems in pre-heating process	The number of cracked stems in seal-in process
Radial tension (kg/cm ²)	130~150		no crack
	50~70	no crack	no crack
Neutral		no crack	no crack
Radial compression (kg/cm ²)	50~70	no crack	no crack
	130~150

Fig. 3. Cracks of stems in seal-in process. (Sample size : Each group 50 pieces)

は脚ピンを通りピンサークルに接線方向にクラックがはいり、半径方向圧力ひずみのときは脚ピンを通り半径方向にクラックがはいることならびにひずみが大きいほどクラックがはいりやすいことがわかる。

次に、われわれは、ステムの熱衝撃試験に対する抵抗性が定量的に調べられ、かつ電子管に組み込まなくても、ステム製造工程において熱抵抗性が検知できるような試験法の確立を目ざして、さらに次の二つの実験を行なってみた。

(1) 一定の温度に保った Fig. 4 のように電気炉内にステムを迅速にそう入し、1 分間保持した後取り出してクラックを調べる。

(2) ステムを氷水で10分間冷却しておいてから、一定温度に保った湯の中に15秒間浸した後、ふたたび 5℃の水中に15秒間浸してから取り出し、クラックを調

べる。

(1)の実験では最高ひずみ値により数グループに分

Fig. 4. Schematic diagram of air atmosphere electric oven used in thermal shock test of stem.

		Temperature difference in thermal shock test			
		520℃	620℃	740℃	860℃
Radial tension (kg/cm ²)	130~140				
	100~110	no crack	no crack	no crack	no crack
	50~60	no crack	no crack	no crack	no crack
Neutral		no crack	no crack	no crack	no crack
Radial compression (kg/cm ²)	70~80	no crack	no crack		
	100~110	no crack	no crack		
	150~160				
	180~200				

Fig. 5. Cracks of stems in the thermal shock test by inserting stem into electric oven. (Sample size : Each group 10 pieces)

		Temperature difference in thermal shock test			
		60℃	70℃	80℃	90℃
Radial tension (kg/cm ²)	130~140	no crack	no crack	no crack	no crack
	100~110	no crack	no crack	no crack	no crack
	50~60	no crack	no crack	no crack	no crack
Neutral		no crack	no crack	no crack	no crack
Radial compression (kg/cm ²)	70~80	no crack	no crack	no crack	no crack
	100~110	no crack	no crack	no crack
	150~160	no crack		×4	×8
	180~200	×3	×6	×5 ×4	×3 ×7

Fig. 6. Cracks of stems in the thermal shock test by inserting stem from 5℃ water into hot water of various temperature. (Sample size : Each group 10 pieces)

け、各グループより10個のステムを選び、500~860℃に保った電気炉の中央に各試験温度域ごとにステムを順次そう入し、1分間後に取り出しクラックを調べた。その結果の一例を Fig. 5 に示す。ただしこの試験における炉内へのステムそう入数は1個/1回であり、1回使用したステムは2度使用していない。これは1度炉内にそう入すると、ひずみ値が変化するためである。

(2)の実験も(1)と同じように最高ひずみにより数グループに分け、各グループより10個のステムを選び、5℃に保った水中に10分間冷却してから、それぞれ一定の温度に保った湯に漬け15秒間保持した後、ふたたび5℃の水に浸してクラックの有無を調べた。Fig. 6に結果の一例を示す。水⇄湯の熱衝撃では半径方向圧力ひずみでは脚ピンを通り半径方向にはいるクラックが起こったが、半径方向張力ひずみではクラックは起こらなかった。なお、半径方向張力ひずみのステムをドライアイスとアルコールとの混合液に浸してから、100

℃の湯に浸してもクラックは起こらなかった。

上記三つの実験結果を総合すると、封入工程中でのクラックとオープンによる急熱試験でのクラックとの結果が最もよく一致するので、ステムのひずみ管理のための試験法としては、このオープン急熱試験法が最適であると思われる。

3 完成球の試験

小型電子管外囲器の熱衝撃試験法として電子管工業において広く採用されているベーステストは、アメリカ陸海空軍受入試験法 (MIL) に規定された方法であり、その概要は次のとおりである (Fig. 7 参照)。

- (1) 試験球が、熱湯の容器壁から19mm以上離れていること。
- (2) 試験球15本に対し、容器は2l以上で、試験のとき、熱湯を容器の3/4以上入れること。
- (3) 相隣る試験球が接触しないこと。
- (4) ホルダーの板には直径9.5mmの穴が6個以上

Fig. 7. The thermal shock test with deflexion cone.

あいていること。

(5) Deflexion cone は, Fig. 7(c) 指定寸法とする。

(6) コーンの軸と試験球の軸を一致させ, 注意深く押し込んで球の底をコーンにしっかり取り付ける。

(7) 球を取り付けたホルダーを 97~100℃ の湯に 10 秒間漬けた後取り出し, 木製台の上に置き室温までさます。

(8) コーンから球を取り出し, クラックを調べる。

Redston¹⁾ は, このような急熱法による熱衝撃試験の結果と市場での事故とが一致しないことを指摘し, むしろ急冷法による熱衝撃試験の結果のほうがよりよく一致することを示した。まず, MIL の試験条件と Redston の実験条件とを比べてみると, MIL は急熱試験のみで, しかも温度差規定がない。また, Redston は, 急冷試験については温度差の効果について実験を行なっているが, 急熱試験については検討を加えていない。熱衝撃試験においては, 温度差が大きく影響することは予測されることであり, 一定の品質保証のための試験としては, まず温度差を規定して試験条件を確立することが必要である。また, われわれの経験上, ひずみのはり方により, 急熱側で割れる場合と急冷側で割れる場合とがあるので, 試験法として急熱急冷の両方について行なうことが必要と考えられる。これらのことを考慮して, われわれは, 急熱急冷を続けて行なう熱衝撃試験法で, 二つの温度差につき比較試験を行なった。ロットサイズ約 800 個の小型

電子管を 13 ロット選び, 各ロットからそれぞれ 60 個を抜き取りそれを 30 個ずつの 2 グループに分けた。同一ロット内のガラスベースのひずみはだいたいそろえておき, ロット間ではひずみが異なっている。小型電子管ガラスベースのひずみは正確にはバルブを切り離さないと測定できないので, バルブを切り離してあらかじめひずみを測定しておいたガラスベースと試験球とをひずみ計の中に同時に入れ, 鋭敏色板によるベースの着色状態を斜めから見ながら比較して選別した。ひずみは, ロット内では 20 kg/cm² 以内, ロット間では 30 kg/cm² から 100 kg/cm² の間で種々の値をとっているものと推測される。熱衝撃の温度差としては 80℃ および 95℃ を選んで比較した。Deflexion cone 付きホルダーに 1 グループ 30 個あてをそう入し, まず室温の流水に 20 分以上浸して充分温度を落ち着けた後, 5, 20℃ の水にそれぞれ 10 分間浸し, ただちに 100℃ の沸騰水に迅速に浸して 15 秒保持した後, ふたたび 5℃ あるいは 20℃ の水にそれぞれ浸すことにより, 95℃ ならびに 80℃ の温度差の熱衝撃試験を行なってクラックを調べた。クラックは, Redston¹⁾ に従って次の四つの型に分類した。

Type A : ピンを通り半径方向にはいるクラック

Type B : ピンを通りピンサークルに接線方向にはいるクラック

Type C : ピンとピンとの間を通り半径方向にはいるクラック

Type D : ステムとバルブの封止部に接線方向にはいるクラック

この四つの型の代表的クラックを Fig. 8 に示す。また, この分類法を用いて, 上述の 80℃ および 95℃ の 2 種の温度差の比較試験を行なった結果の一例を Fig. 9 に示す。温度差 80℃ と 95℃ とではわずかに 15℃ の差しかないが, クラックの発生率はかなり違ってくる。また, クラックの型を見ると, Type A が圧倒的に多い。これについては次報で考察するがガラスベースのひずみによるものであり, 熱衝撃試験では温度差の影響を強く受けることを示すものである。したがって, 熱衝撃試験においては, 温度差を規定することが重要である。

4 結 語

われわれは, 小型電子管ガラス外囲器の熱衝撃試験法を, 部品としてのステムおよび完成球の二つについて検討したところ, ステムについては封入工程でのステム・クラックの原因が, 主としてガラス部の応力によるものであり, これを検出するには, ステムを電気オープン中にそう入する急熱試験が適していることを認めた。また, 完成球については, ガラスのクラックを四つの型に分類するとともに, 急熱急冷時の温度差

Fig. 8. Typical cracks of the miniature electron tube base by the thermal shock test with deflexion cone.

Fig. 9. Effect of temperature difference in upward-downward thermal shock test with deflexion cone.

の影響を調べてみた。

完成球の熱衝撃試験で生ずる四つの型のクラックは、材料、ステム加工法、封入加工法等がかなり影響するが、これらについては近い将来に報告する。

参考文献

- 1) Redston, G.D., Electronic Engineering, **29**, 470 (1956).
- 2) Redston, G.D., Jour. Soc. Glass Tech., **39**, 3N (1955).
- 3) MIL-E-1D 4.9.6. Glass Strain Test.