

ガラスの歪と歪の測定方法(No.3)

千葉工業大学 附属研究所 教授 岸井 貫

△除冷点

①JIS ISO 規格による測定法

除冷点の目安は、鉛ガラスで 400 ないし 450℃、ソーダ石灰ガラスで 520 ないし 550℃、硬質ガラス 550℃以上です。測定には JIS に従った測定器を作るか購入するかして測ればよいのです。

ただし現時点で、JIS 規格の内容を ISO 規格のそれに統合するための作業が行われています。測定器メーカーと綿密に打ち合わせることが必要です。

この方法は、ガラス細工で細い棒状の試料を作り、荷重を掛けながら加熱して、ガラスが粘性により伸びていくのを測定して粘度を求めます。

②歪みの直接観察による方法学史的には、除冷点は加熱時のガラスの歪みの消失を直接観察して求めていました。この方法を説明します。

ガラス製品から、またはガラス溶解炉から数十グラムの試料を採取し、ガスバーナーで加熱して溶かしたものを石英ガラス棒の先に付けます。炎の中でガラスを加熱し、温度が均一に近い丸い溶けたガラスの珠を作ります。もう一つの石英ガラス棒を使って直径数ミリメートルの丸棒にし、冷却します。ガラス棒の中には「ひずみ」が残ります。

棒を長さ 2 ないし 3 cm くらいに切り、その側面に互いに対向しかつ平行な 2 面が出来るように削り、削った面を艶出し磨きし、光がこの 2 面を通過できるようにします(図 12)。

管形の電気炉を使い、一定温度に保ちます。電気炉は光を通過させることが出来るような構造にします。ガラス棒の保持具を作ります。これはガラス棒を炉中に立てて保持し、棒の磨いた面を光が通過して炉外で観察できるような構造にします。電気炉の両側に偏光板を立てます。偏光板には「偏光軸」があります。ふたつの偏光板の軸が互いに直交するように置くと光が通過しなくなります(図 13)。

しかしガラス棒を通過した光は、ガラス棒の歪みのために性質を変えて、2 枚の偏光板を通過するようになります。

2 枚の偏光板を面内で回転させ、二つの偏光軸は互いに直交する状態であり、かつガラス棒を通過する光が一番明るく見える、という角度で固定します(図 14)。

一定温度に調節された炉内へガラス棒を差し入れて固定します。温度が高過ぎれば、ガラス棒を通過する光は短時間でなくなり、ガラス棒が暗くなります。

温度が低すぎれば、長時間経ってもガラスは明るく見えています。

温度をいろいろ変えて、歪みが消える(ガラスが暗く見える)までの時間が 15 分であるよう温度を探します。この温度が「除冷点」です。

図 12 ガラス棒の側面をつや出し磨きして、光を通過させられるような形にする。P はつや出し磨きした面

a)見取り図、b)棒に直角に切った断面図

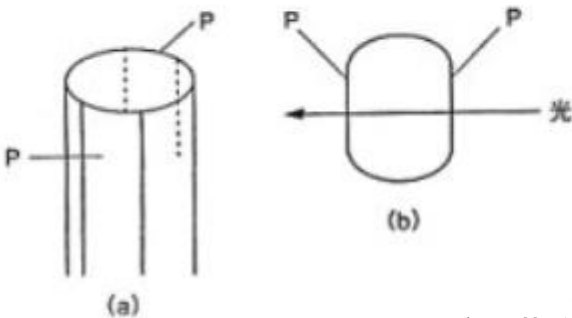


図 13 偏光板 P と偏光軸 H とガラス G の配置関係の説明図

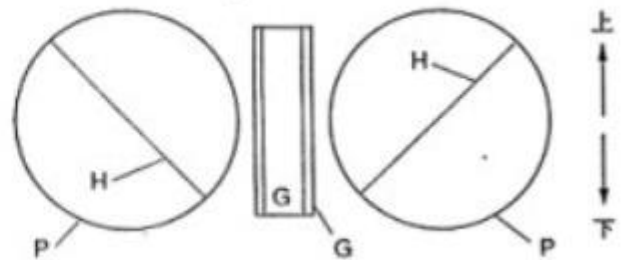
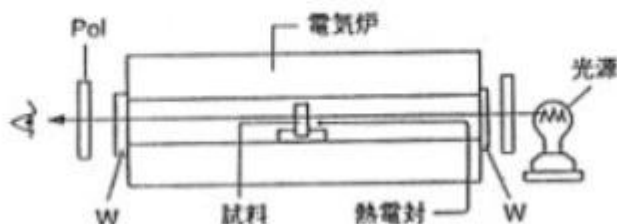


図 14 ガラス棒試料のひずみの削減を観察する装置
Pol:偏光板、 W:石英ガラス製窓



△ガラスの「除冷」

ガラス器を成形してから、除冷点で低温保持し、それからゆっくり冷やす(除冷する)ならば実用上歪みを小さくできるはずですが、

冷やす速度はガラス器の大きさと肉の厚さによります。冷却中にガラス器内の温度の不均一が小さいことが必要です。このような速度で 50 ないし 100℃低い温度まで冷やします。ここまで冷やすと、ガラスは固化して、弾性体と見なせます。

それ以後の冷却速度は、温度不均一によって生じた弾性的な歪みでガラス器が壊れないような限度で、速くすることができます。

△ガラスと金属・セラミックスと融着体

① 応力の発生過程に関連する要因

金属やセラミックスはガラスが軟化するような温度でも硬いと考えられます。従って普通は温度変化による熱的な膨張・収縮と弾性的変形だけによって形を変えます。金属内の応力が極端に大きくなると塑性流動をする場合があって、この現象を積極的に利用して融着体を作る場合があります。これについてはあとで述べます。

簡単に説明するために、ガラスと金属とでバイメタル型の融着体を作る場合を考えます。

ガラスと金属の熱膨張曲線が図 15 の a(または b)のようであったとします。ガラスは高温で「ガラス転移」を起こし、それにより高温では膨張係数が大きくなります。図の T_g が「ガラス転移」です。

ガラスの見かけ上の固化温度は、除冷点の前後です。除冷点はガラス転移点とほぼ同じ場合(ソーダ石灰ガラス、鉛ガラスなど)と、ガラス転移点よりも少し高い温度にある場合(ホウ酸の多い硬質ガラス)とがあります。図では固化温度を T_k で示してあります。

② 応力の発生過程

ここでは理解しやすくするために金属の熱膨張曲線は直線に近いものとし、

また始めにガラス転移点と固化温度が近い(図 15a)に対応する場合を説明します(図 16)。

ガラスが固化する温度よりも高い温度にして、ガラスと金属とを融着します。ガラスにも金属にも応力は発生しません。

次にゆっくり冷やし始めます。ガラスと金属との間に膨張係数の差があるために膨張差(図 16b)と応力が発生するはずですが、温度が T_k より十分高くしてガラスが軟らかい(粘性係数が小さい)間は、応力がすぐに消えてしまい、応力が認められません。

さらに冷えてガラスの固化温度に近づくと、膨張差の一部は消え残り、応力の発生が認められます。

さらに温度が下がりガラスの粘性が高くなると、応力の消え残る部分が増え、更に冷えると新しく発生した膨張差が全く消えず、温度変化に伴って(代数的に)清算されて行きます(図 16c)。

応力も残存・清算された膨張差に比例して融着体の中に発生・存在します。

融着体の形が特に異方的である場合、例えば金属線をガラスで巻いた形の融着体では、応力の発生状況も異方的です。この場合には軸方向の膨張差と応力は、固化温度が図 17 の T_{k1} であるかのように発生し、半径方向の膨張差と応力は T_{k1} よりも低い温度 T_{k2} が固化温度であるかのように発生します。

従って、冷却に伴う温度—応力曲線は図 17c のようになり、軸方向の応力と半径方向の応力とは正比例しません。

ガラスの除冷点がガラス転移点よりもやや高い場合は、図 18 のようになり、応力の発生した後に応力が強くなります。

③ 冷却速度の影響

ガラスが固化して応力が発生し始める温度は、融着体を冷やす速度の影響も受けます。

速く冷やすと高い温度から膨張差・応力が発生し始めます。またゆっくり冷やすと膨張差・応力の発生し始める温度が低くなります。冷却速度が一桁違つと、応力が発生し始める温度が数十度違いと言う程度の変化があります。

④ 金属の塑性変形の効果

金属やセラミックスはガラスが軟化するような温度でも硬いと考えられます。従って普通は温度変化による熱的な膨張・収縮と弾性的変形だけによって形を変えます。

金属内の応力が極端に大きくなると塑性流動をする場合があって、この現象を積極的に利用して融着体を作る場合があります。蛍光灯や小電力電球、受信用真空管に使われるジュメット封入線がその例です。ジュメット線は、低膨張の鉄—ニッケル合金線に銅層を巻き付けた構造です。銅の膨張係数は鉄ニッケル合金よりも相当に大きいのですが、銅は軟らかい金属で応力が加わると塑性変形します。そのため封入線の膨張特性は、軸方向では鉄—ニッケル合金線の膨張特性に近く、半径方向には鉄—ニッケル合金線の膨張と銅の膨張との加重平均になります(図 19)。

封入線の半径方向の膨張特性を、銅層の厚さを調節してガラスの膨張特性に合わせてあります。

ジュメット線の軸方向の膨張はガラスよりかなり小さいのですが、ガラスを厚く被せるとガラス中の軸方向の応力を十分小さくできるので、半径方向の応力が小さいように銅層の厚さを調整すると、ガラスが割れる恐れのない融着体を作れます。

図 15 融着するガラスと金属の熱膨張特性の組み合わせの例

a) ガラス転移点 T_g とガラスの固化温度 T_k とがほぼ等しい場合、b) ガラスの固化温度 T_k がガラス転移点 T_g よりかなり高い場合

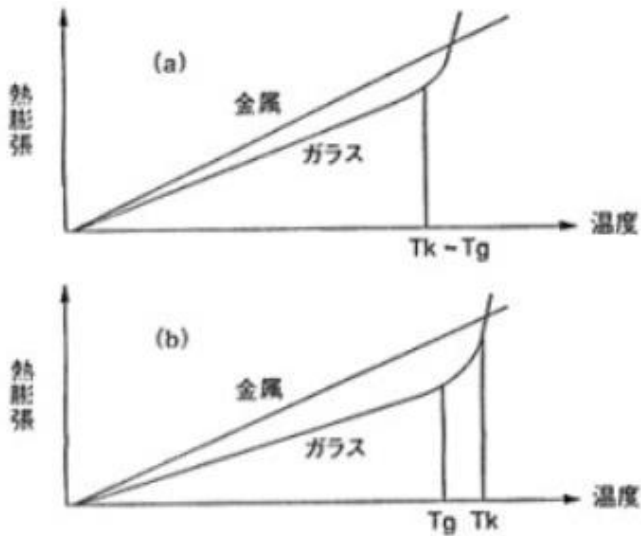


図 17 融着体の形が異方的で、応力が方向によって複数ある場合の膨張差の説明図

a) 金属とガラスの膨張曲線、b) 金属とガラスとの間の膨張差。零点は任意である、c) 融着により発生する応力に関する膨張差。複数ある

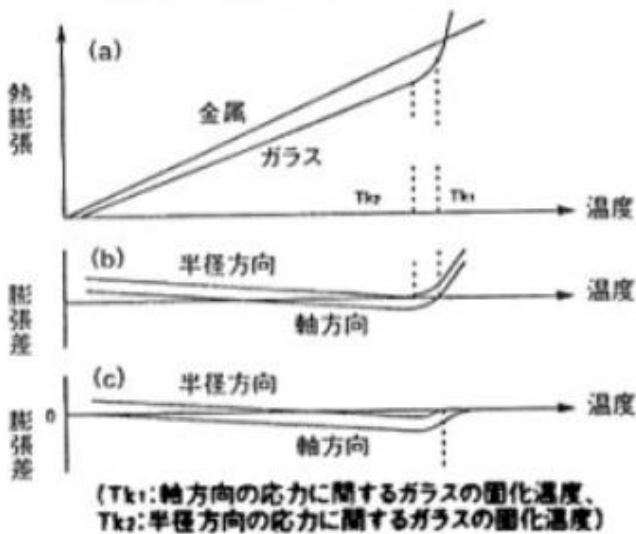


図 19 ジュメット線、銅、鉄-ニッケル合金、ジュメット封着用ガラスの熱膨張特性の定性的比較

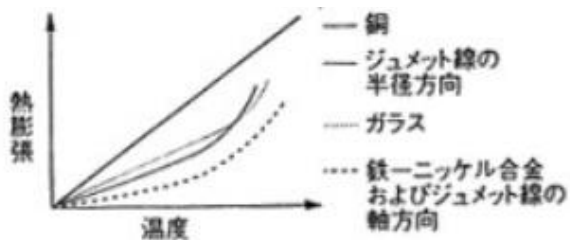


図 16 金属とガラスの融着時の膨張差。ガラスの固化温度 T_k とガラス転移点 T_g とがほぼ等しい場合
a) 金属とガラスの根拠膨張曲線、b) 金属とガラスとの間の膨張差。零点は任意である、c) 融着により発生する応力の原因になる膨張差

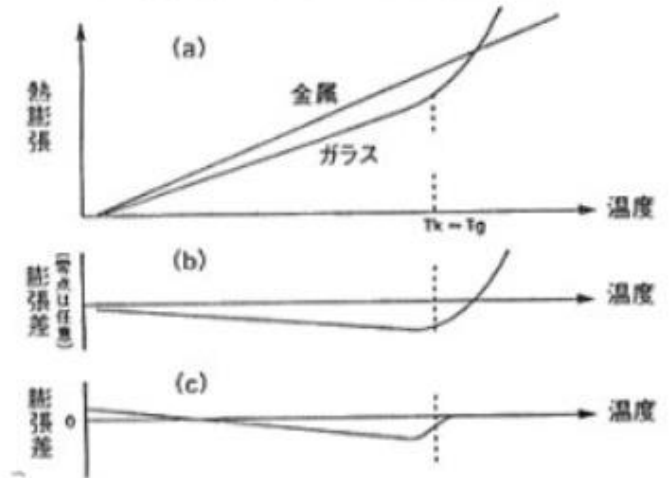


図 18 金属とガラスとの融着時の膨張差。ガラスの固化温度 T_k がガラス転移点 T_g よりかなり高い場合

a) 金属とガラスの熱膨張曲線、b) 金属との間の膨張差。零点は任意である、c) 融着により発生する応力の原因になる膨張差

