

△融着体の中の応力

①角柱形融着体

温度—熱膨張特性、温度—粘性係数特性が違う二つのガラスを融着させた時に、どのように力が発生するかを説明します(図20)。

簡単のために、二つのガラスが角柱形であり、これらがバイメタル形に張り合わせられた形の融着体を考えます。また、一方のガラスが他方よりも除冷点がかなり高いとします。融着してから冷却すると、始めに除冷点が高い方のガラスが固化し、それからもう一方のガラスが固化します。双方のガラスともに固化した時から応力が発生し始めます。応力発生の原因は、二つのガラスの間の熱膨張特性の違い、言い換えれば固化してからの収縮量が違っていることです。

このような場合の応力の発生状況を、定性的ですが次のように説明します。二つのガラスの間で、まだ収縮量の差が出ていないとします(図20a)。次に収縮量の差ができたときを考えます。一方が他方よりも余計に収縮しています。融着していないので、それぞれが自由に収縮したと仮定すると図20bのように二つのガラスの間に長さの差が出ます。しかし実際は融着していますから、双方の長さは等しい事が必要で、二つのガラスの長さの中間の値になります(図20c)。

つまり収縮の少ないガラスはさらに縮められ、収縮の大きいガラスは引き延ばされます。これに応じて、前者の中には長さ方向に圧縮するような力、後者の中には引っ張るような力が働きます。このように仮定したときの応力の分布は、応力の断面にわたっての積分値が零であるとの条件が満たされるようなものです。

しかし、このままでは曲げモーメントが零ではありませんから、融着体はいつまでも自然に回転を続けます。こういうのは物理的にあり得ません。実際にはバイメタル作用で全体が曲がり、曲げモーメントが零になるような形で落ち着きます(図20d)。このあたりの事情は金属とガラス、またはセラミックスとガラスの融着の場合でも同じです。

この種の融着体ではその形と応力分布とは、次の条件を満足しなければなりません。

- ①長さ方向の応力を断面内で積分すると零である。
- ②曲げモーメントが零である。 ということです。

このように膨張差と応力が冷却中に発生する過程を詳しく見て行きます(図21)。融着体が冷却されて行く膨張係数の差があるので、膨張差が生じます(図21a)。

しかし、少なくとも一方のガラスが軟らかい(粘度が小さい)時期には応力が発生してもすぐに緩和されてしまいます(図21bの右の方)。

次に固化温度の低い方のガラスも固化して、応力が発生し始めます(図21bの中頃)。

しかし、このガラスがまだ十分固くない時期には、膨張差と応力が発生しても一部は消えます。固化が更に進むと応力の消失が少なくなり、完全に固化すると、それ以後に発生した応力が既にあった応力に代数的に加算された形で残ります(図21の左方)。

実際のガラスの組み合わせでどうなるかを、図22に示します。図22aのような融着体で、ガラスBの方がガラスAよりも固化温度が低いのです。図22bではガラスAの方が高膨張、図22cではガラスAの方が低膨張です。

bは例えばソーダ石灰ガラスと鉛ガラスとの組み合わせ。αの方は低アルカリのソーダ石灰ガラスと高アルカリのソーダ石灰ガラスとの組み合わせに相当します。

b1、c1は熱膨張曲線の組み合わせ、b2、c2は冷却中の膨張差の発生状況、b3、c3は冷却後の応力の分布を示します。

図20 バイメタル形融着体中の応力の発生・分布

図22 異種ガラスの組み合わせと応力の発生・分布

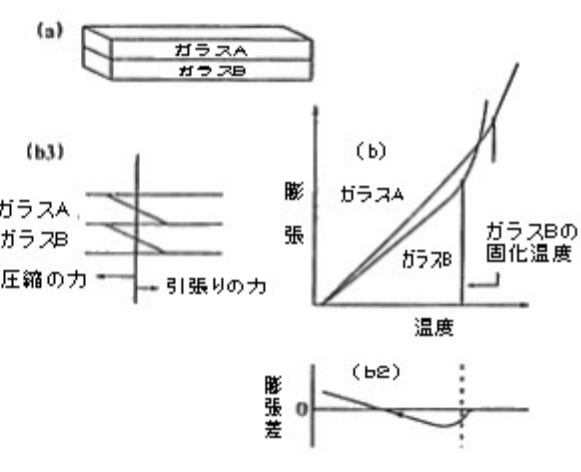
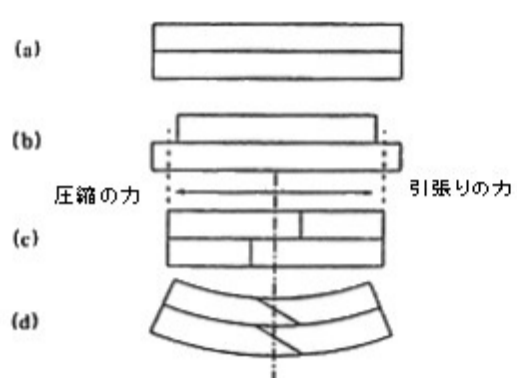
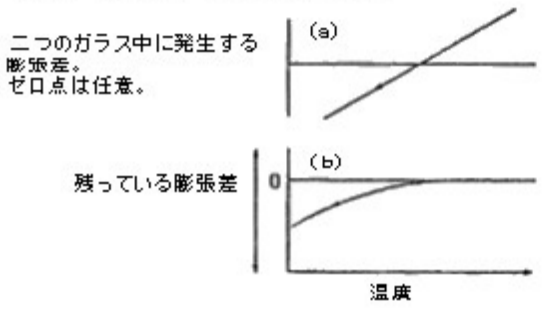
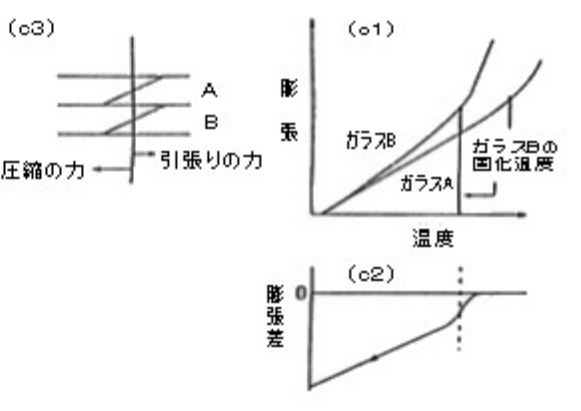


図21 融着体中の応力の発生過程



②円筒形融着体

金属とガラスとが同心円形に融着された場合の応力分布を説明します。例として金属が中心にあり、ガラスがこれを取り巻く形であると、ガラスの方が金属より膨張係数が大きい(余計に縮む)とします(図23a)。

ガラスが金属より余計に縮むと、これを金属が妨げている、と考えます。軸方向と円周方向の縮みが妨げられているので、ガラスの中のこれらの方向の応力は引っ張り力です。

また、半径方向の縮みも金属で妨げられているので、ガラスの半径方向の力は圧縮の力になります。

金属の方で考えると、長さ方向・円周方向・半径方向とも、ガラスから縮めようとする力を受けますから、これらの方向の力は皆圧縮の力になります。

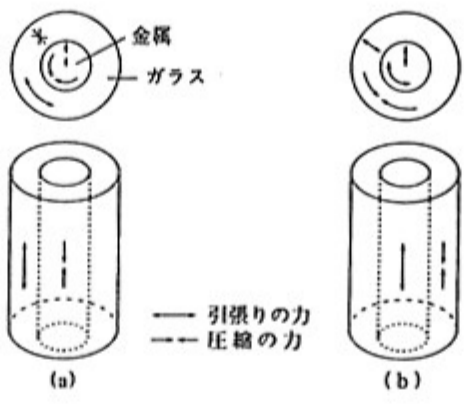
このような力の分布は、喩えれば茶筒にゴム輪を巻き付けた場合を想像すれば理解しやすいと思います。金属の方が余計に縮む場合は、圧縮の力と引っ張り力の力が交代したような分布になります(図23b)。

形が軸対称なので、軸を曲げるような応力や曲げモーメントを考慮する必要がありません。

円筒形融着体では、もう一つ複雑な事情があります。軸方向の応力は半径—円周軸方向の力に較べて消失しにくいのです。

そのために、融着後に冷却するとき、軸方向の応力が先に立ち上がり始め、それに少し遅れて半径—円周方向の応力が立ち上がります。

図23 円筒形融着体中の応力の性質



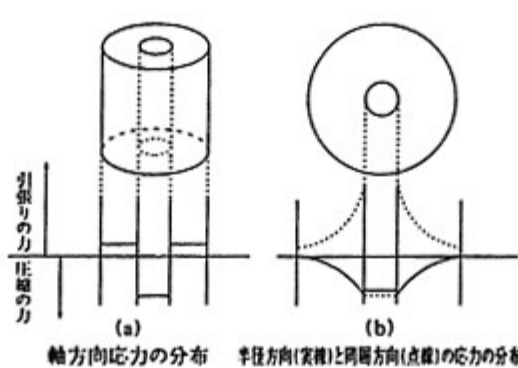
③応力の性質

円筒形の融着体の中で働いている力には次のような性質があります。応力の計算にはこの性質を利用します。

- a 軸方向の力を軸に垂直な断面について積分するとゼロです。
- b 金属とガラスとの界面では半径方向の応力は連続的に変化します。
- c 特に外表面の半径方向の応力はゼロです。
- d これらの応力によりガラス・金属が変形して、ガラスの内孔の形と金属の外形とが同じになっています(割れ目がありません)。

応力の分布(図24)を定量的に計算するときには、このような性質を利用します。

図24 円筒形融着体中の応力分布(外側の材料が高膨張の場合)



④応力の観察法

ガラスとガラス・金属・セラミックなどを融着したときの応力の計算は面倒なことですし、それぞれの材料の特性が総て判っていると(限りません)。

このような場合、ガラスが透明であれば、ガラスの中に働いている応力を直接に観察することができます。

角柱形・バイメタル形では、融着した後でガラスの側面を艶出し研磨して、光が通過できるようにします(図25a)。

円筒形融着体では側面と端面とを平面に艶出し研磨します(図25b)。

偏光を通過させて応力を測り、または計算します(測定と計算の方法は後の章で記します)。

図25 融着試験体中の応力を偏光を使って観察・測定する方法

