

物性変化と内部摩擦 —市販銅の高温測定から—

共振法による弾性率(ヤング率や剛性率)測定では内部摩擦も同時に測定できます。物性変化による弾性率の変化の微係数的な検出感度を持つ内部摩擦は微少な物性変化の検出に効果的です。

弊社製品に数 kHz で測定する JE-HT(自由共振法、以下 JE) と、2桁低い数十 Hz で測定する EG-HT(片持共振法、以下 EG)がありますが、同一の市販銅(合金?)の高温測定を両装置で実施した結果、3種の内部摩擦変化が得られ、かつ低周波数測定が物性変化を良くとらえる、というデータが得られましたので紹介します。



JE-HT



EG-HT with LT

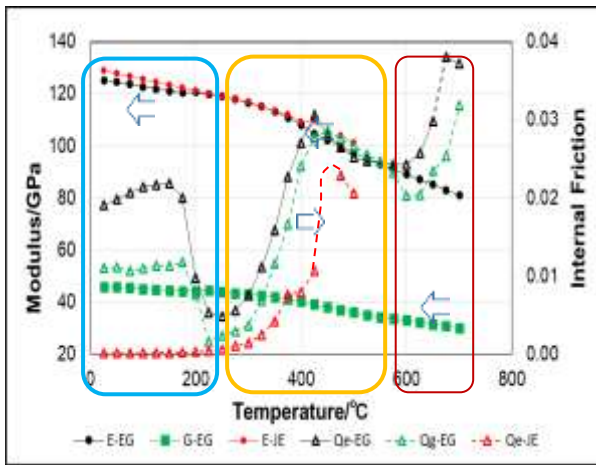


Fig.1 異なる周波数での Cu の高温測定結果比較

Fig.1 は、市販銅板を JE(赤)と EG(黒、緑)による弾性率と内部摩擦の高温変化を重ね、内部摩擦の変化状況で青枠、黄枠、茶枠と分けたものです。

JE 測定のヤング率が赤実線、内部摩擦が赤点線で、EG 測定のヤング率が黒実線でその内部摩擦が黒点線、剛性率が緑実線でその内部摩擦が緑点線です。横軸は温度、左縦軸はヤング率、剛性率の弾性率、右縦軸は内部摩擦です。

青枠で△黒実線の曲げ振動内部摩擦を見ると室温から 0.02 と大きい内部摩擦を示していて、昇温すると 180°C 付近から急激に減少し 210°C 付近で最小値となっています。内部摩擦が小さくなったということは内部のひずみ状態が少なくなって振動の減衰も小さくなった、すなわちばね性能が上がった、ということを示しています。

ばね業界では材質によって異なりますが、200°C を超えた温度で熱処理が行われていますが、このことをこのデータは示しています。この内部組織は可動転位と言われており、熱処理によって転位の消滅などが起きているのであろうと思われます。

ところが 2桁高い振動数の JE で測定しますと、赤点線のように全くその変化が見られません。内部摩擦を生じさせる欠陥は粘性的効果を持ち、粘性による変化より早い振動数では材料の変化を捉えられていないことを示しています。これから言えることは銅に限らず、他の材質でも内部摩擦の生じる組織が粘性的変化するものの測定におい

ては、微少な物性変化を捉えるためには低周波で測定するほうが適しているということです。

またヤング率では内部摩擦が大きい時に JE の方が高い値を示しています。通常、数 MHz で測定する超音波法によるヤング率は 3桁低い周波数で測定する自由共振法(JE型)に比べて高い値を示す周波数依存性がみられていましたが、2kHz の JE と 2桁低い EG との違いもここに見られています。

次に黄色枠内を見ますと黒点線、緑点線、赤点線ともに内部摩擦が上昇し最大値をとったあと、下がっています。この形状は材料内の組織が緩和現象を示していて、ピーク位置で内部組織が最も大きく動き、そして次の組織に変化し、構造が安定状態になるにしたがって内部摩擦が小さくなっていきます。これは変態や拡散など原子が移動し、次の位置で安定するなどの様子を示します。いわゆる加えるエネルギーによって原子振動数が変わり、その振動数で最大の動きを示していることとなります。ピークの共振数と温度は黒点線の EG 曲げ振動が 30Hz@425°C、EG ねじり振動が 79Hz@440°C、JE 振動は 1999Hz@475°C でこれをアレニウスプロットしますと Fig.2 のように直線に乗りますので、このグラフの傾斜から活性化エネルギーが計算でき、このグラフから 88kJ/mol が得られています。

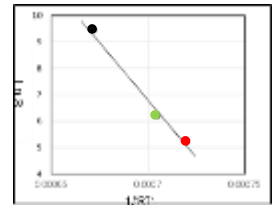


Fig.2 アレニウスプロット

かつて、自由共振法では内部摩擦が 10^{-2} の桁では測定ができず、EG での測定だけでは曲げ振動とねじり振動でピーク温度が異なることは異方性によるものか?と思われていましたが、近年の JE の性能向上によって 3点ながらアレニウスプロットに乗ることが判明し、EG 内部摩擦で曲げ振動とねじり振動のピーク位置で差があるときはややラフながら活性化エネルギーの算出ができるものと思われます。

ついで、茶色枠は 800°C で下がった内部摩擦が上昇に転じています。これは高温軟化によるものと思われる。

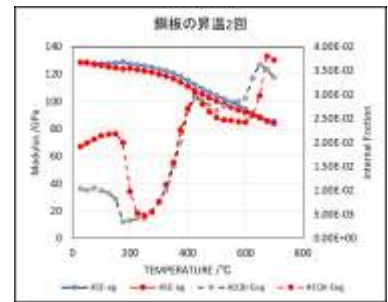


Fig.3 昇温後再測定結果との比較

EG 測定した試料を再測定したものが Fig.3 の黒線です。赤線の 1 回目に比べて 200°C 以下では内部摩擦が減少し、組織の変化が見られますが、400°C 付近のピークは 2 回とも同じ変化を示していて、緩和現象の再現性を示しています。500°C 以上では 2 回目の内部摩擦が大きくなっていて軟化による変化の差を示しています。

以上のように、市販銅板の高温測定で、3種の内部摩擦変化がみられ、EG では内部摩擦の大きい場合の安定測定と同時に、低周波測定による低粘性(大きい内部摩擦)の物性変化も測定可能という特徴を示しています。(文責: 児玉)