

村 川 梨

(1946年12月18日受理)

3. 実験の順序

我々の目的は銅合金の板に於ける低温焼鈍の内部ひずみに對する影響をしらべるのにあつたので、種々の温度で焼鈍した板についてたわみの弾性(厳密にいえばたわみの塑性)を測定した。たわみの塑性は $\Delta\theta_{30}$ で代表せしめたことは既に述べた通りであるが、 $\Delta\theta_{30}$ はいつでも次のようにして求めた。即ち試料に一度も重りをかけないうちに望遠鏡で物さしの像の位置(s_0)を読み取つて置き、次に重り(W_1)を40秒間かけてから、これを取り去る。それから1分を経て再び物さしの像の位置(s_1)を読み、 $s_1 - s_0$ から試料の端Aの残留たわみ角 $\Delta\theta_1$ を計算する。 $\Delta\theta_1$ は W_1 による残留たわみに關係した角である。次に W_1 よりも重い重り W_2 について同様の操作を行なつて s_2 を読み、 $s_2 - s_0$ から W_2 による残留たわみ角 $\Delta\theta_2$ を計算する。このようにして W_3, W_4, \dots の順に $s_3 - s_0, s_4 - s_0, \dots$ を測る。但し $W_1 < W_2 < W_3 < W_4 < \dots$ である。 $s_n - s_0$ が小さければ、 $\Delta\theta_n$ は $(s_n - s_0) / 2D$ に等しい。但し D は物さしと鏡との距離である。

この実験を一枚の板について行なえば、その板について σ_m と $\Delta\theta$ との關係をあらわす曲線を畫くことができる。第2圖はそのような曲線の一例である。この曲線から $\sigma_m = 30\text{kg/mm}^2$ に對する $\Delta\theta$ 即ち $\Delta\theta_{30}$ を求めることができる。

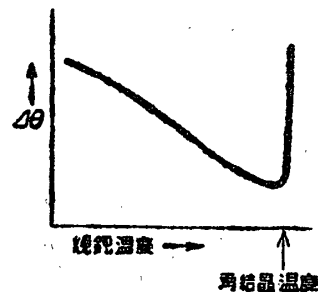
かくして或る板について $\Delta\theta_{30}$ を求めたら、次に別の温度で焼鈍した別の板について $\Delta\theta_{30}$ を求める。種々の焼鈍温度についてこの操作を行なえば、焼鈍温度のかん數として $\Delta\theta_{30}$ をあらわす曲線が得られる。但し一度或る温度で焼鈍して試験した板は他の温度で焼鈍する試料としては用いない。

L_0 と $\Delta\theta$ との間の關係は壓延度が33%以下の場合が了解し易く、壓延度が33%以上の場合には、今の所では了解しにくいことは既に述べたとおりであるが、壓延度が33%以上の場合にも焼鈍温度のかん數として $\Delta\theta_{30}$ をあらわして(いつでも $L_0 = 160\text{mm}$)、壓延度が33%以下の場合と比較して見た。その結果

焼鈍温度と $\Delta\theta_{30}$ との關係に關する限り、壓延度が33%以上の場合でも不自然な現象には出會わなかつたと考えられる。又、實用的のデータとしてはそれだけで役に立つ場合も少くなかつたようである。

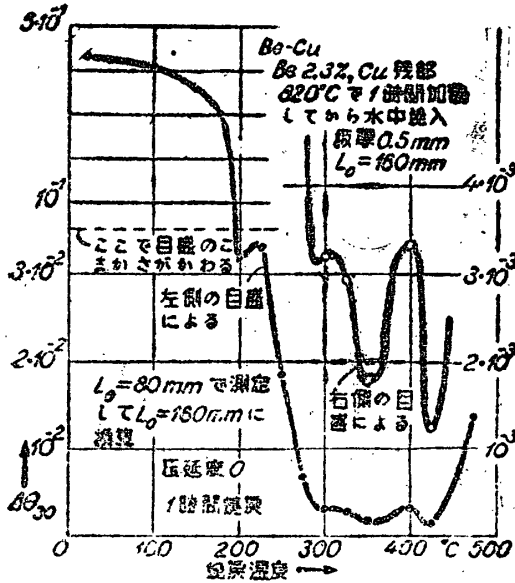
4. 低温焼鈍と内部ひずみ

今迄に述べた実験を黄銅板、りん青銅板、ベリリウム銅合金板、洋白板等について行なつた。それらの板のうちで低温焼鈍により析出又は變態をしないものでは焼鈍温度と $\Delta\theta$ との關係は何れも第9圖に示すような形の曲線であらわされることがわかつた。焼鈍温度が高くなるにつれて、内部ひずみ(σ)は小さくなり、それと同時にたわみの塑性變形は小さくなる。それが再結晶温度よりも僅か低い温度で最小となり、再結晶温度を越えると急に大きくなる。これによつて結晶粒が大きくなると塑性變形が大きくなることがわかる。



第9圖 再結晶温度よりも低い温度で析出又は變態をしない場合の焼鈍温度と $\Delta\theta$ との關係

次に析出硬化性の合金に關する實驗結果について述べて見たい。第10圖はベリリウム銅板を焼き入れてから壓延をしないで種々の温度で焼戻した場合の焼戻温度と $\Delta\theta_{30}$ との關係を示すものである。この場合には350°Cで焼き戻すことによつて析出は最も盛に起る(即ち析出による内部ひずみが最大になる)ことが知られている。所が、第10圖の曲線は350°Cで谷となつてゐる。そしてその兩側が300°C及び400°Cで山になつてゐる。これは内部ひずみの小さい間は $\Delta\theta$ がこれと共に増加するけれど、内部ひずみの或る値で $\Delta\theta$ が極大となり、内部ひずみのもつと大きな値



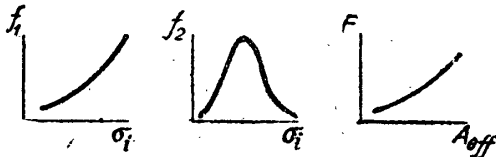
第10圖 壓延しない Be-Cu 板における焼戻温度と $\Delta\theta_{30}$ との関係。

に對しては $\Delta\theta$ は減小することを意味している。

上に述べた考えは第2表の(4)式によつて定性的にあらわすことができる。 A_{eff} は 1 cm^3 の中の結晶粒境界の全體の實効面積で、析出の起つた場合には適當に定義しなければならないから、 eff という添字をつけたのである。 f_1/F は析出が起らないと考えた場合の $\Delta\theta$, f_2/F は析出が起つたことによる $\Delta\theta$ で、 f_1, f_2, F は第2表の下に書いたような形をしている。

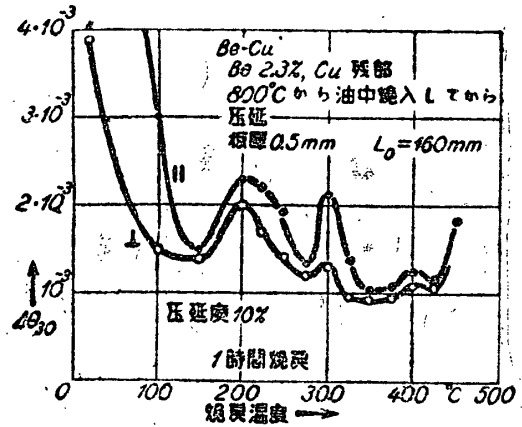
第2表

$$\Delta\theta = \frac{f_1(\sigma_f) + f_2(\sigma_f)}{F(A_{eff})} \quad (4)$$



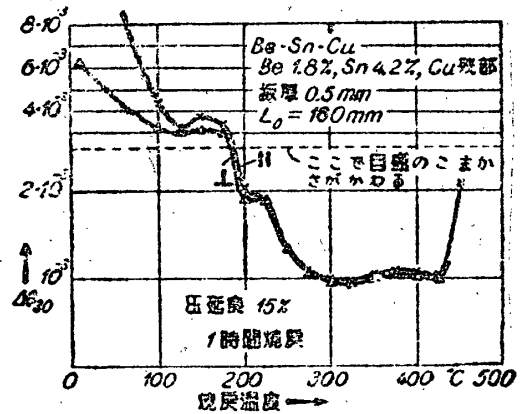
この考えにより第10圖の300°C及び400°Cの山は第2表の f_2 の山に對應していることが説明される。即ち300°Cよりも少し低い温度で析出が起り始めて、400°Cで析出による内部ひずみが殆んど除去されることとなる。225°C附近の山はまだ解釋を完了しない山であつて、225°Cは Be-Cu に關して今迄に文獻にあらわれていない温度である。これを第一次の析出の温度と考えれば、350°Cは第二次の析出の温度となり、Al-Cu 合金に於ける析出現象と完全に類似したものになる。約290°Cの焼き戻しにより、Be-Cu 合金の第一次の析出物が再溶解して内部ひずみが小さくなると考えることができる。

第11圖は焼入れてから10%だけ壓延した Be-Cu の板に關する曲線である。第10圖とくらべて第一次



第11圖 壓延した Be-Cu 板における焼戻温度と $\Delta\theta_{30}$ との関係

の析出による山が目立っているが、全體としての傾向はすべて第10圖の場合と定性的に同じであり、同じように解釋することができる。

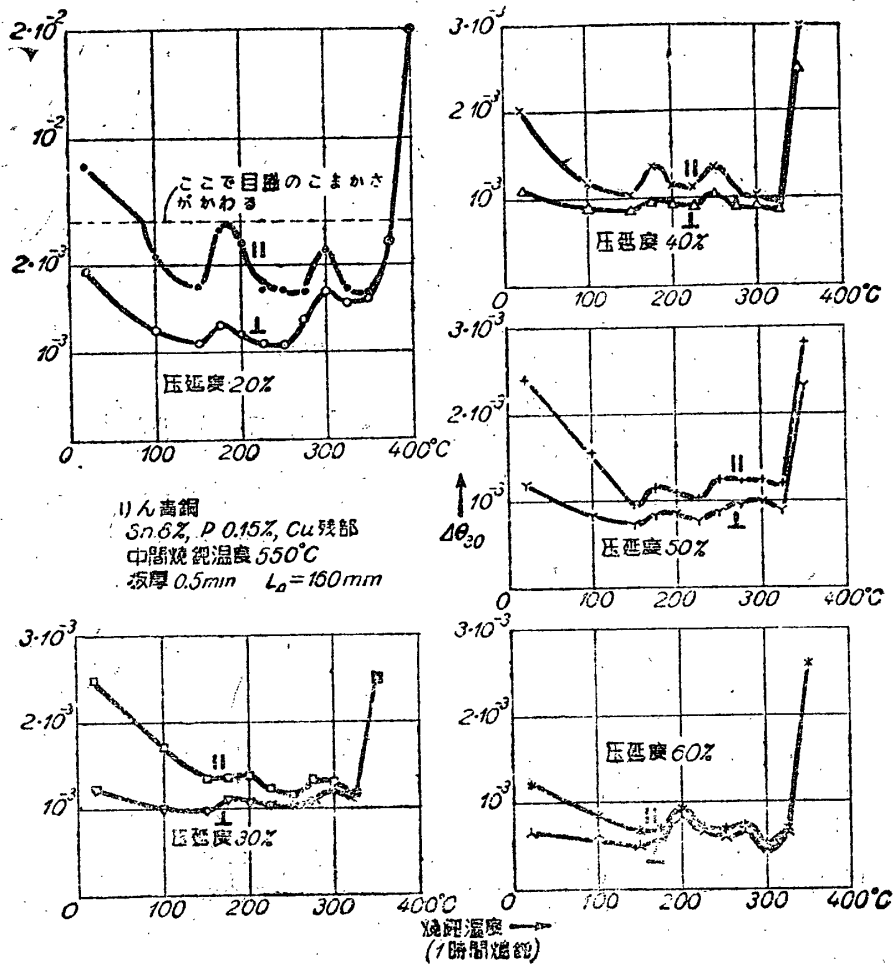


第12圖 壓延した Be-Sn-Cu 板における焼戻温度と $\Delta\theta_{30}$ との関係

第12圖の Be-Sn-Cu 合金の場合も全く同様に解釋することができる。焼戻温度が200°C以下の測定については以前の測定⁽³⁾は温度の間隔のとりかたが荒過ぎたので第一次の析出による山を見のがした。

もう一つ析出硬化性の合金として壓延したりん青銅板を擧げることができる⁽⁴⁾。それに関する實驗結果を第13圖に示す。

Pawlek 及び Haase⁽⁵⁾ の研究によれば、Sn-Cu 合金は強い加工を施さないで有限な時間のうちに平衡に達するようにならない、即ち析出硬化をしないのである。りん青銅も大體これと似た傾向を持つている。これを加工するとき中間焼鈍(最終加工の行程よりも以前の焼鈍)の温度が約550°Cを越えると析出硬化の現象をはつきり見ることができなくなる。第13圖は中間焼鈍温度が550°Cの場合を示したもので、析出硬化に特有な凸凹の曲線が畫かれている。但しこの場合にも焼鈍温度と硬度との関係は餘り凸凹の著しい



第13圖 壓延したりん青銅の板における焼鈍温度と $\Delta\theta_{30}$ との関係

曲線を示さない。

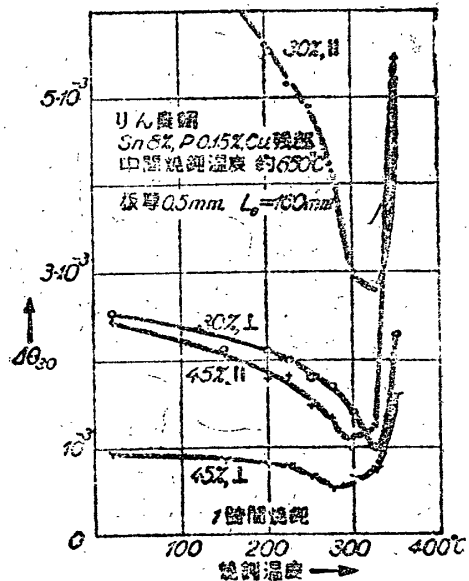
第13圖の曲線には二つの山があらわれていて、Be-Cu の場合のように三つの山はあらわれない。この事実を、りん青銅の場合には、硬度測定が示すように第一次析出も第二次析出もひどく大きな内部ひずみを生ずるに至らないために、Be-Cu に於ける 350°C の谷に相當するものがあらわれないことによると考えることができるのではなからうか。

たとえば中間焼鈍温度を約 650°C にすると、第14圖の示すように、焼鈍温度と $\Delta\theta$ との関係は第9圖によく似たものとなつて、析出硬化による曲線の凸凹を見られなくなつて了う。

實際問題としても、弾力がなかなか弱らないような優秀なりん青銅の壓延板(又は線)を製造するには、中間焼鈍温度が 550°C を越さないようにすることは極めて大切な注意である。

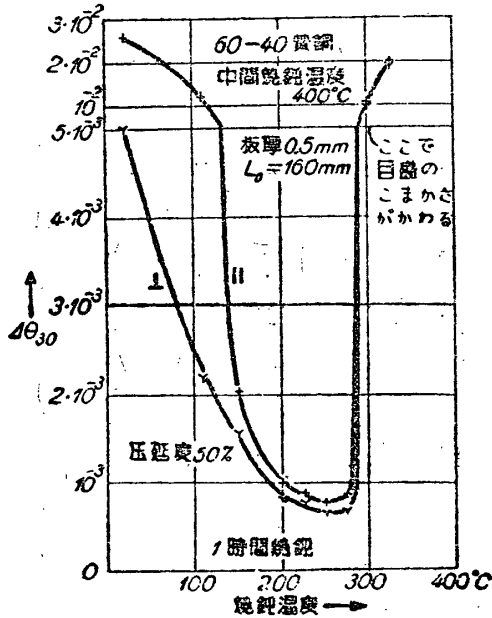
5. 内部ひずみの経年變化

壓延したまゝの板又は低温焼鈍を施した銅合金板を

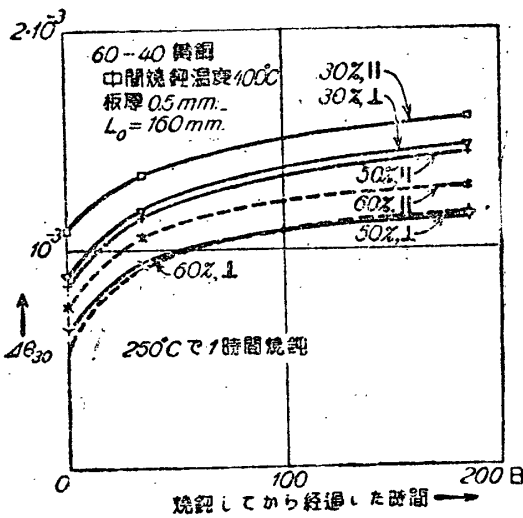


第14圖 中間焼鈍温度が約 650°C で壓延されたりん青銅板における焼鈍温度と $\Delta\theta_{30}$ との関係。(たとえば 30%, II とは最終壓延度が 30% の板の II 方向の意味)

放置すると、時間の経過と共に $\Delta\theta$ が増加する。即ち時間の経過と共に内部ひずみが増加する。その最も代表的なものは黄銅である。たとえば 60-40 黄銅 (Zn 40%, Cu 60%) は第 15 圖の示すように、250°C の焼鈍によつて $\Delta\theta$ が最小になるものであるが、この温度で焼鈍した黄銅板について経年変化を示したのが第



第 15 圖 60-40 黄銅における焼鈍温度と $\Delta\theta_{30}$ との関係



第 16 圖 60-40 黄銅に於ける $\Delta\theta_{30}$ の経年変化

16 圖である。

経年変化があるから、焼鈍してから測定するまでの時間を明示する必要がある。第 11 圖及び第 12 圖は焼鈍後約 1 年を経たから測定した結果であるが、それ以外の圖は焼鈍直後に測定した結果である。

なお、實際の問題として、第 15 圖と第 16 圖とを第 13 圖とくらべて見ると、適當な熱処理によつて製造した 60-40 黄銅はりん青銅に匹敵する弾性材料になり得るものであることがわかる。

6. 結 語

この報告においてはたわみの塑性をカンチ・レバーによつて測定する方法について議論し、又實際に測定したデータを根據として、それが合金における析出をしらべる金屬物理學的の道具となり得ることを示すことができた。しかし、この方法のこまかい點を吟味してみると、特に 33% 以上の加工を施した金屬板における L_0 と $\Delta\theta$ との関係に關して、はつきりした物理的の解釋を與えることのできない現象も横たわつている。これについては、今後諸兄の御意見を伺つて現象の根本的の因子を探り度いと考へている。

この報告は上述の測定を色々な銅合金の板に行なつた結果の綜合のようなものであつて、りん青銅、黄銅、洋白、ベリリウム銅、マンガン青銅のこまかい機構に觸れる餘裕がなかつた。いつか又筆を新たにしてこれらの合金の詳細について報告し度いと考へている。

文 獻

- (1) 村川潔, 和田達郎, 岩波幸雄: 航空研究所報告 No. 296 (1944)
- (2) 村川潔: 航空研究所彙報 No. 240 (1944), 233-246.
- (3) 村川潔, 高島信之: 同上 No. 244 (1944), 437-442.
- (4) 龜井了: 同上 No. 250 (1945), 181-187.
- (5) C. Haas u. F. Pawlek: ZS. f. Metallkunde. 28 (1936), 73-80.