

より、 L, D の F_t 上への射影を考えてみると、

$$F_t = L \frac{w}{V_{0.5}} + D \frac{w_{t0.5}}{V_{0.5}}$$

之に (7), (9), (10) を代入すると、

$$\Gamma = \frac{1}{2} V_{0.5} C_x \left(1 + \frac{C_x}{C_z} \frac{w_{t0.5}}{w_i} \right) \quad (14)$$

となる。単純に考えて

$$\Gamma = \frac{1}{2} V_{0.5} C_x \quad (\times \times)$$

としているのを見かけるが、之は (×) 式と同じく誤である。

翼列理論を軸流送風機などの設計に應用する場合、その抵抗を充分考へ入れないと誤をおかすことをのべてみた。

(14) 式より明なるように、循環は揚力のみによつて定まるものでなく、抗力によつても影響されることに

注意すべきである。特に翼が「ねている」場合には、 $\frac{W_{t0.5}}{W_n}$ の値が大になるから、 Γ に対する C_x の影響は大になる。

文 献

(1) 軸流回轉機の研究

第1報 タービンの中の流體の流れ方について

航研1報 241號

第2報 任意無限薄翼列の一解法

航研1報 246號

第3報 反りも厚みも小なる任意無限翼列の一解法

航研1報 246號

第4報 軸流回轉機と翼列の關係

理工研報告 第1巻 7.8號

第5報 平板翼列の一つの性質

理工研報告 2巻 3・4號

(2) 前掲第4報参照

金 属 壓 延 板 の 硬 度

村 川 梨

(1943 年 6 月 11 日受理)

1. ま え が き

金属壓延板の低温焼鈍効果をしらべる際に、その硬度のデータが必要になるとがある。加工金属の低温焼鈍については既に山田史郎氏¹⁾の精密な抗張力の測定結果(抗張力の大小と硬度の大小とは平行している場合がかなり多い)が發表されているが、あらゆる合金を網羅しているのではないので、りん青銅をはじめとしてここで問題になる合金の硬度を測定した。壓延板の硬度はビッカース硬度が最も適當していることは常識的事實である。以下述べる測定結果も全部ビッカース硬度に關するものである。

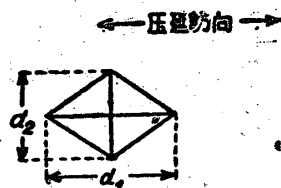
2. 硬度計の使用範圍

ここで使用したビッカース硬度計は一つは本館の地下室にあるもの(これを硬度計 A と名付ける)と、他の一つは 4 號館にあるもの(これを硬度計 B と名付ける)とで、いずれも明石製作所製のものであつた。但しこの報告で發表するデータは第3圖の一部を除いては全部硬度計 B によるものである。周知のように、

ビッカース硬度は、ダイヤモンドの先端を金属面におしつけて得られる壓痕の二つの對角線の長さの平均値を d とし、荷重を W とすれば、

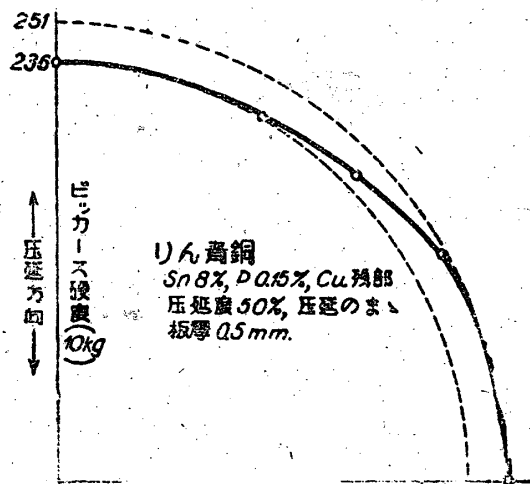
$$\text{硬度} = 1.854 \times W/d^2$$

によつて定義されるものである。所が、壓延板の場合には、二つの對角線の長さが著しく異なることがある。そこで對角線が \parallel 方向又は \perp 方向に平行になるように壓痕を作つた場合(第1圖参照)、 d_1, d_2 を上式に代入して得られる硬度を夫々 \parallel 方向及び \perp 方向の硬度と定義すれば(これは本來の硬度の定義には少し反するけれど)便利である。同様に壓延方向と或る角



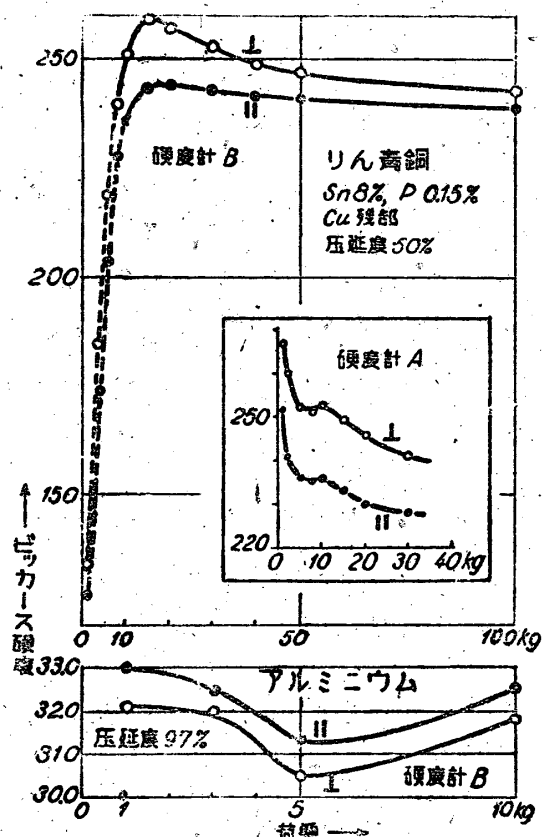
第1圖 \parallel 方向及び \perp 方向の硬度の測定における壓痕

をなす方向の硬度も定義することができる。たとえば 30° 及び 60° の方向の硬度は同時に測定されるわけである。第2圖はりん青銅板の硬度を極座標によつてあらわしたもので、楕圓のような曲線が得られている。

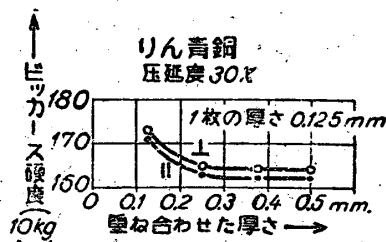


第2圖 りん青銅板における硬度の方向性

先ず硬度計の荷重の大きさを決定しなければならぬ。りん青銅の場合に荷重のかん数としての硬度を極めて普通な方法で測定すれば第3圖が得られる。但し荷重が小さい場合は荷重のかけ方とかける時間をもつ



第3圖 使用したピッカース硬度計における荷重と硬度との関係の例 (この関係は必ずしも他のピッカース硬度計に適用できるとは言えない)。

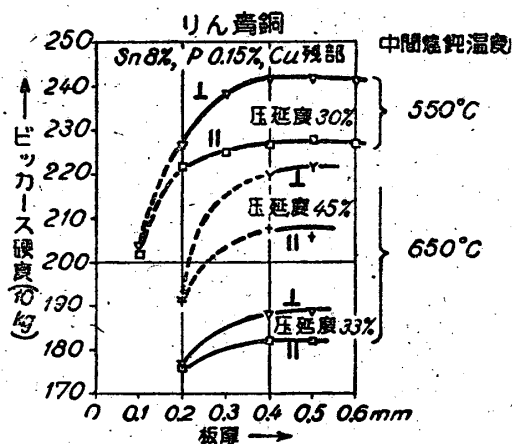


第4圖 薄いりん青銅板の見掛けの硬度

と工夫すれば第3圖とは異なつた曲線が得られたかも知れない。極めてありふれた方法で測定するとすればりん青銅板の硬度は荷重 10 kg により常識的な大きさの値が得られる。第3圖の下方の圖は柔らかい金属の一例としてアルミニウムの場合を示すものであるが、これだけのデータでは適当な荷重は決定できないので暫定的に 5 kg と取ることにした。10 kg では壓痕が大き過ぎるからである。

次に試料の下に置くものの影響をしらべるために厚さ 0.125 mm のりん青銅板を数枚重ねて測定を行つた。1枚だけを鋼板の上におくとりん青銅板を重ね合わせた場合よりも大きな値が得られるが、その下に僅か1枚のりん青銅板をおけば (即ち全体の厚さが 0.25 mm となる) それで十分であることがわかる。

最終壓延度が一定になるようにして種々の厚さの板を作り、その硬度を測定すれば第5圖に示す結果が得られる。板厚が 0.3 mm 以下になると \parallel 方向と \perp 方向の硬度の差が小さくなりその硬度も小さくなるかの如く見えて、この傾向は第3圖で荷重が 100 kg を越える場合の傾向とよく似ている。板厚 0.2 mm 以下の薄板の壓痕の附近の板の面は複雑な空間的曲面をなしているのが肉眼でも明瞭に見られる。それ故に 0.3 mm 以下の薄板の硬度は普通の硬度計で測るべきものではなく、矢張り (100 gr の程度の荷重で) ミクロ硬度計によつて測るべきである。従つて今後測定に供す

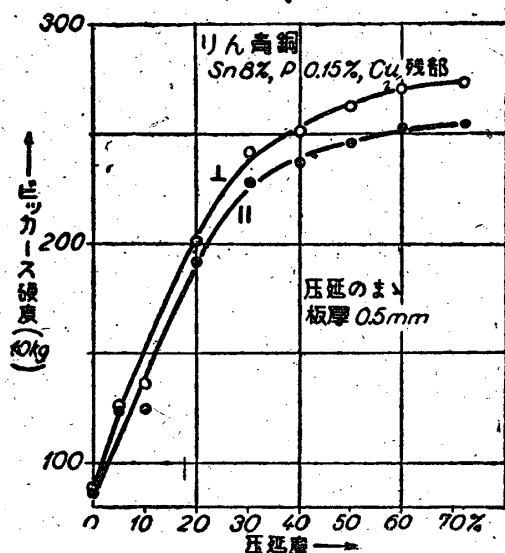


第5圖 種々の厚さのりん青銅板 (壓延のまゝ) の硬度

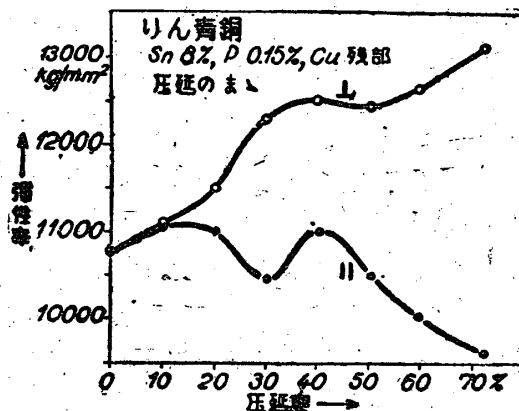
る試料は全部 0.5 mm の厚さの板ばかりをえらぶことにした。

3. リン青銅板の低温焼鈍

以前の報告⁽²⁾で、壓延したりん青銅板に低温焼鈍を



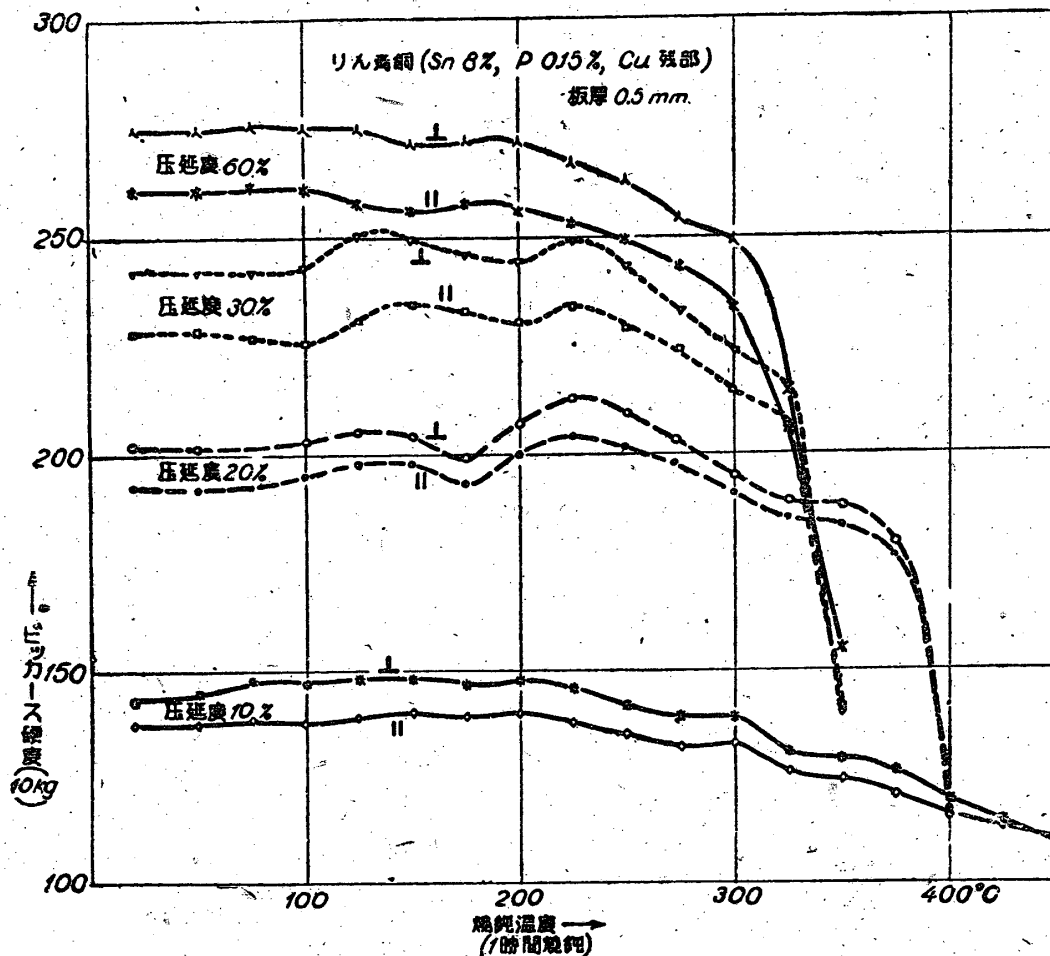
第6図 リン青銅における壓延度と硬度との関係



第7図 リン青銅における壓延度と弾性率との関係

施すときのたわみの塑性の変化する様子について述べたが、これの硬度をしらべることも望ましかつた。

先ず種々の壓延度のりん青銅板の硬度を（壓延のまゝで）壓延度のかん数としてあらわせば、第6圖が得られ、曲線の形は他の金属の場合とよく似ている。550°Cで焼鈍した板（即ち壓延度0%）にも僅かながら方向性があることはその繊維組織を焼鈍だけによつて完全に取り去ることが困難であることを物語つてい



第8図 リン青銅における焼鈍温度と硬度との関係

る。第7圖は壓延度のかん數として弾性率をあらわす曲線を示すものであるが、 \parallel 方向と \perp 方向とは異なつた形をしており、何れも第6圖とは関係のないような形をしていることは興味ある事實である。

第8圖は種々の壓延度のりん青銅板の硬度が低温焼鈍によつて變化する様子を示すものである。以前の報告⁽²⁾で、りん青銅の壓延板は 225°C で析出硬化すべき筈であることを述べたが、今度の硬度曲線も 225°C で山 (たわみの塑性では谷) ができている。この山は壓延度が 2)~40% の範圍で高く、この範圍を出るに従つて山が低くなり、壓延度が 60% になるとこの山が低温側に移動する。壓延度が 10% のものでは、析出が盛に起ることを豫期される焼鈍温度で山が消失して寧ろ谷になつてゐる。第9圖は壓延度が 10% のりん青銅の板についてたわみの塑性を焼鈍温度のかん數としてあらわす曲線を測つた結果であるが、この曲線の谷と山の位置と第8圖の壓延度 10% の板に関する曲線の谷と山の温度の位置とが (特に 160°-325°C の範圍で) 割合によく一致している。これは壓延度が 20% 以上のりん青銅板では見られない現象である。

第8圖におけるもう一つの特徴は再結晶温度の直前で硬度曲線に小さな山があらわれることである。これ

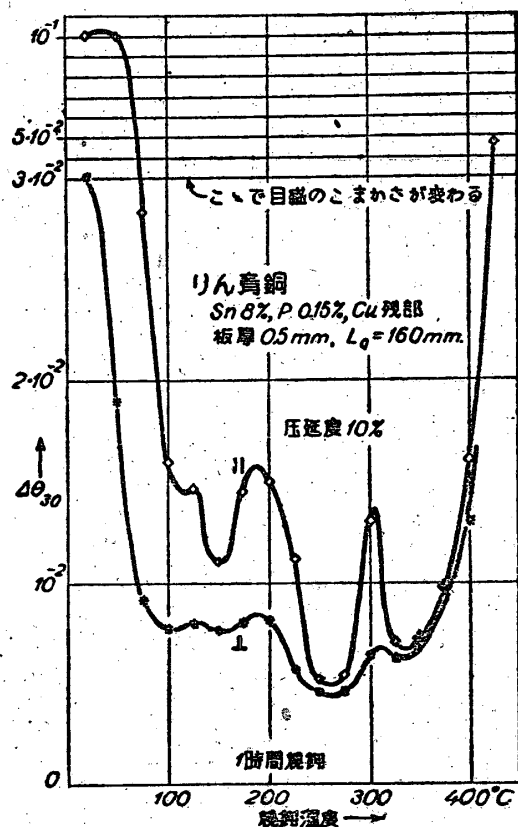
は他の加工金屬でも (今迄に測定した範圍で) あらわれる現象であつて、再結晶の準備過程で原子が移動して特別の状態になることによると考えられる。この過程により内部歪が却つて大きくなるためか、それとも Orowan⁽³⁾ のいう熱的硬化 (thermal hardening) によるのかは今後の研究によつて決定し度い。又、加工した黄銅を 250°C で焼鈍すると硬くなることはこの現象の一つの例に過ぎないのではないかと考えられる。

再結晶温度よりも少し高い所で \parallel 方向及び \perp 方向の硬度が等しくなるような焼鈍温度が存在する。この事實はたわみの塑性の實驗結果ともよく調和する。

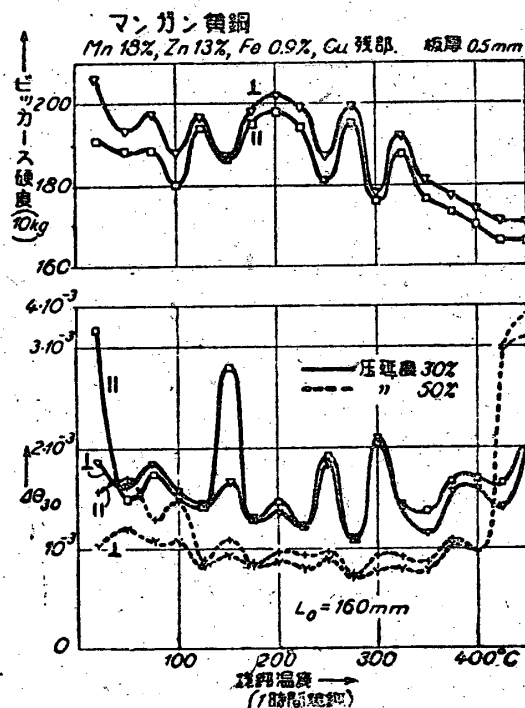
4. マンガン黄銅板の低温焼鈍

壓延したマンガン黄銅板についてもたわみの塑性の測定結果が既に發表されてゐて⁽⁴⁾、矢張り低温焼鈍によつて析出硬化が起ることが結論されている。

Mn の含有量の割合に多いマンガン黄銅の板に関するたわみの塑性及び硬度の測定結果を圖示すれば第10圖の通りである。曲線の形は複雑で、これを解釋することは容易ではないが、マンガン黄銅は加工してから焼鈍すれば析出現象が起ることは大體確實である。Mn-Cu 系合金も目下研究中であるが、今迄に得られたデータは 100°C 以下の眞の平衡状態では 3% 程度の Mn も Cu に溶解しないと考へなくては解釋することができない。



第9圖 壓延度 10% のりん青銅の板のたわみの弾性

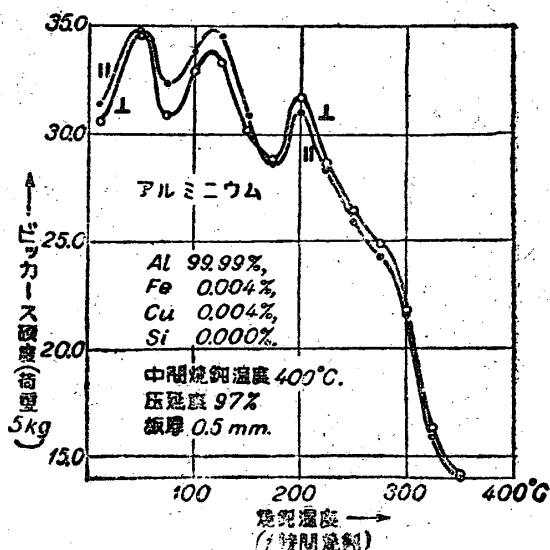


第10圖 マンガン黄銅の壓延板における焼鈍温度とたわみの弾性及び硬度との關係

Mn, Zn の含有量を色々と変えたマンガン黄銅の壓延板についても大體研究を終了したので、別の機会に報告し度いと考えているが、實用的な事に關して次の結論を下してもよいようである。即ちバネ板用材料としてのマンガン黄銅は Mn 8-10% でこれに應じて Zn 26-24%, Cu 残部なる組成のものがたわみ應力による永久變形が最小である。但し最終壓延の後に 275°C で約 1 時間の低温焼鈍を施す必要がある。中間焼鈍は 600-550°C で 1 時間の加熱が適當である。

5. アルミニウム板の低温焼鈍

純度のよいアルミニウムの加工材については 50°C における加熱によつて硬くなることが石田博士⁽⁵⁾によつて發表されている。石田博士の試料と同じ純度の Ne. h. us. n のアルミニウムの硬度の測定の結果を



第 11 圖 アルミニウムの壓延板における焼鈍温度と硬度との關係

圖示すれば第 11 圖の通りである。我々の測定でも 50°C の焼鈍により硬度が大きくなることを認めたが、その他に 125°C 又は 200°C の焼鈍によつても硬度が大きくなることを見出した。これらの異常性については、不純物を考慮に入れない石田博士の説は未だ検討の餘地があるように思われる。何となれば僅かながら Cu (0.004%) が存在することは、デュラルミンと同じ原因の析出硬化の可能性を完全に排除することが不可能であり、既存の Cu-Al 系合金の状態圖も無限の時間をかけて平衡させた場合（加工を與えたとこの時間が著しく縮まる）に關するものではないからである。

なお、アルミニウムの場合にも再結晶温度よりも僅か低い温度で硬度曲線に小さな上りができることは第 11 圖から明らかである。

この實驗の硬度計は福井伸二教授の御好意により使用できたものであり、Neuhausen のアルミニウム板は小西芳吉教授の御好意により入手、第 10 圖に引用したマンガン黄銅板は齋藤金屬工業株式會社の山本健二合金課長の御好意で入手したものであつた。ここでこれらの方々に厚く御禮申上げる次第である。

文 獻

- (1) 山田史郎：日本金屬學會誌 5 (1942), 390; 6 (1943), 161.
- (2) 村川 梨：理工學研究所報告 1 (1947), 60.
- (3) E. Orowan：ZS. f. Phys. 89 (1934), 634; Proc. Phys. Soc. London 52 (1940), 14.
C. L. Smith：Nature 160 (1947), 466.
- (4) 龜井 亨：航空研究所報 (1945), 181.
- (5) 石田四郎：航空研究所報告 21 (1944), 203.