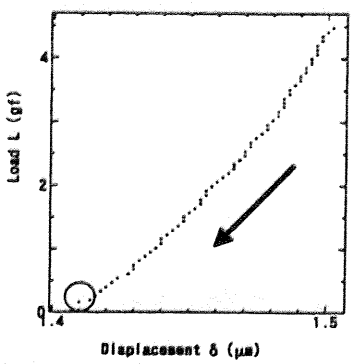

Fig.2(b) Enlargement of unloading curve

各押込みデータのうち、最大荷重後の除荷過程のデータを拡大プロットし、それに合う近似曲線を引いた。その曲線をその形状に基づき、次式のように仮定した。

$$Lr = K(\delta r - \delta s)^n \qquad \cdots(1)$$

ここで、 Kは比例定数である。

これより得られる最大荷重(L_{max})の3%、35%の荷重L_{r1}, L_{r2}とその時の押込み量δ_{r1}, δ_{r2}、および最大押込み量δ_{r3}のときの荷重L_{r3}の計6点を求めた(Fig.3)。

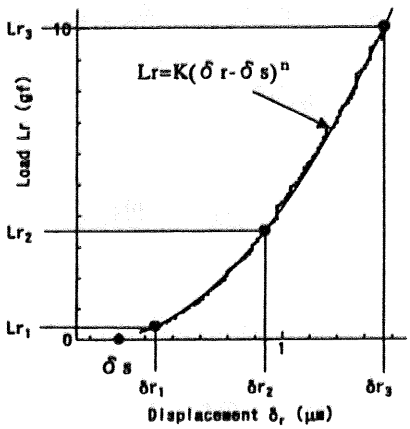

Fig.3 Determination of finish point of unloading

4.1. 除荷終了点(δ_s)の決定法

上で求めた6点を式(1)に代入することにより、δ_sは次式を満足する値で与えられる。

$$\frac{In\left(\frac{\delta r_3 - \delta s}{\delta r_1 - \delta s}\right)}{In\left(\frac{\delta r_3 - \delta s}{\delta r_2 - \delta s}\right)} = \frac{In\left(\frac{Lr_3}{Lr_1}\right)}{In\left(\frac{Lr_3}{Lr_2}\right)} \qquad \cdots(2)$$

この式を用いて数値解析的にδ_sを求めるプログラムを作成し、δ_sの決定を行った。

4.2. 曲線形状指数nの決定法

nは、δ_sを定めることにより次式で与えられる。

$$n = \frac{In\left(\frac{Lr_3}{Lr_1}\right)}{In\left(\frac{\delta r_3 - \delta s}{\delta r_1 - \delta s}\right)} \quad \text{または、} \quad n = \frac{In\left(\frac{Lr_3}{Lr_2}\right)}{In\left(\frac{\delta r_3 - \delta s}{\delta r_2 - \delta s}\right)} \qquad \cdots(3)$$

式(3)を用いて除荷曲線形状指数を算出した結果をFig.4に示す。その結果、形状指数は球圧子による除荷曲線の形状指数にほぼ一致(n=1.5)することが、アルミ、りん青銅、ステンレス鋼に対しても確認された。

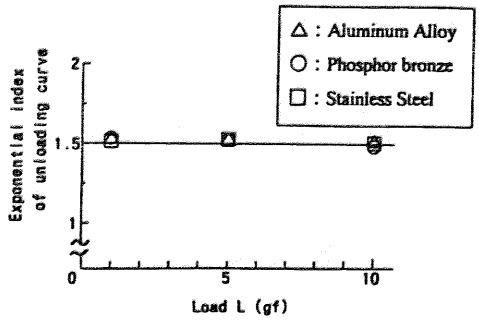

Fig.4 Relationship between exponential index of unloading curve and load

5. 三角錐圧子による金属のヤング率算出式

球圧子による金属のヤング率算出式の考え方を基に、石橋らにより提案されている三角錐圧子による金属のヤング接算出式を示すと、次のようになる。

$$Es = \frac{\left(1-\mu_s^2\right)}{3.68 \times \frac{\delta r_3 \times (\delta r_3 - \delta s)}{Lr_3} - I(E)} \qquad \cdots(4)$$

ここで、

Es：金属のヤング率, μs：金属のポアソン比

I(E)：圧子の弾性パラメータ {$=(1-\mu_I^2)/E_I$;

E_I：圧子のヤング率, μ_I：圧子のポアソン比}

6. アルミ合金、りん青銅、ステンレス鋼に対する算出値

アルミ合金(A2017)、りん青銅(C5210R-1/2H)、ステンレス鋼(SUS304)試験片に対する実験結果を用いて、式(4)によりヤング率を算出した結果をFig.5に示す。

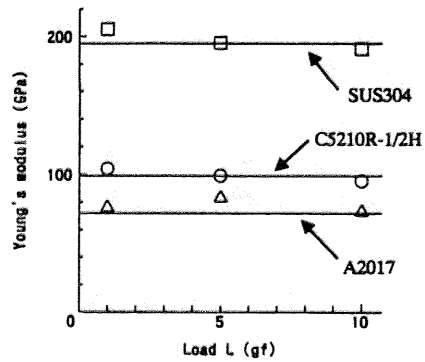

Fig.5 Results of experiments by ultramicro hardness tester (mean value)

7. 結言

(1)縦型超微小硬さ試験機を用いて修正ベルコビッチ三角錐圧子による試験を、3種類の金属(アルミ合金、りん青銅、ステンレス鋼)に対して行った。

(2)除荷終了点を除荷曲線上の3点を用いて決定する方法を示した。

(3)今回用いた試験片において、除荷曲線形状指数の決定を行った結果、その形状指数は球圧子による除荷曲線形状指数にほぼ一致することがわかった。

(4)提案されている三角錐圧子によるヤング率算出式を用いてヤング率を算出したところ、それらの平均値はひずみゲージによって求めた値とかなりよい一致を示した。

最後に、試験片等のご協力と研究に対する支援をいただいた(株)原田伸銅所、並びに協力いただいた4年生の濱岸憲一朗君、吉川裕輔君に感謝申し上げる。