

Study on Evaluational Method of Determining Material Characteristics using Ultramicro Hardness Tester

(Measurement of Young's Modulus by Means of Loading and Unloading with Small Ball Indenter)

正 石橋 達弥 (新潟大)
正 大木 基史 (新潟大)
学 天野 裕久 (新潟大院)

○学 藤塚 将行(新潟大院)
学 中鉢 幸男(新潟大院)
高田 昌志(日本電信電話(株))

Tatsuya ISHIBASH, Masayuki FUJITSUKA, Motofumi OHKI, Yukio CHUBACHI, Hirohisa AMANO;
Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950-21 JAPAN
Masashi TAKADA; Nippon Telegraph and Telephone CORPORATION

The aim of this study is to determine material characteristics by means of loading and unloading with an ultramicro hardness tester with a small ball indenter. At this time we use the ultramicro hardness tester that had been developed and we compare the test results of some kinds of material (Carbon steel, Stainless steel, and Aluminum Alloy), the results of the analyzation of the data, and the numerical results of the measurement of Young's modulus by a small ball of 0.5mm to that by a small ball of 1mm and 5mm.

Key Words: Ultramicro Hardness Tester, Material Characteristics, Young's Modulus of Metals, Ball Indenter

1. 緒言

近年の薄膜技術や微細技術の進歩はめざましく、それに伴い材料試験も超微小領域に対応したものが必要となっている。本研究は、球圧子によるサブミクロンオーダーに至る押し込み硬さ試験により材料の機械的特性値の測定を目的としている。本報では前報¹⁾までに開発した試験機を用いて、圧子球直径0.5 mmの場合の金属に対する試験結果、データ処理、それらから求めた縦弾性係数(ヤング率)の測定結果を、圧子球直径1, 5 mmの場合と比較した。

2. 保持具付き球圧子による金属のヤング率算出式

保持具付き球圧子を金属試験片に押し込み、次いで除荷するまでの一連の接触状態をモデル的に示すと Fig.1 のようになる。

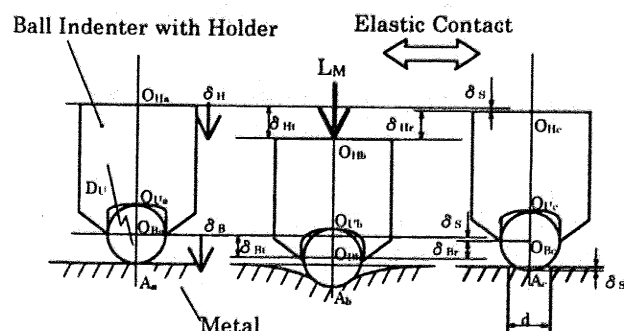


Fig. 1 Contact Figures between Ball Indenter with Holder and Metal's Surface

この時の保持具部の弾性変形量 δ_{U1} は、圧子球受け部 O_U 近傍の変形量 $\delta_{U1}=C \cdot L^{2/3}$ と保持軸部の弾性変形量 δ_{U2} との和で表せる。

$$\delta_{II} = C_1 \cdot L^{2/3} + C_2 \cdot L \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 L は押込み荷重、 C_1 、 C_2 は定数である。

この δ_{ij} を考慮することにより、保持層付球圧子による

金属試験片のヤング率 E_s の算出式は、次のようになる。

$$E_s = (1 - \mu_s^2) / \left[\frac{4(\delta_{II} - \delta_{IV})}{3 \cdot L_M} \sqrt{D \left(\delta_{III} - \frac{\delta_{III} + \delta_{IV}}{2} \right)} - I(E) \right] \quad \text{.....(2)}$$

ここで、

E_S : 金属のヤング率, μ_S : 金属のポアソン比
 E_I : 圧子球のヤング率, μ_I : 圧子球のポアソン比
 $I(E)$: 圧子球の弾性パラメータ $\{=(1-\mu_I^2)/E_I\}$
 D : 圧子球の直径, L_M : 最大押込み荷重
 δ_{in}, δ_{ir} : 保持具部上端 (O_H) の押込み量、除荷量

3. 実験

3.1. 実験装置

本報の実験で用いた横型超微小硬さ試験機の側面図を Fig.2 に示す。

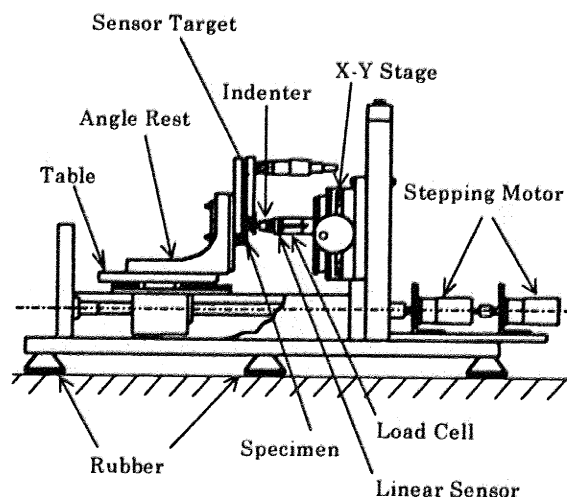


Fig. 2 Side View of Ultramicro Hardness Tester

3.2. 圧子

これまでの実験では、直径1, 5 mmの圧子球を用いて行ってきた。さらに微小領域での試験を行うために、本報では、圧子球直径が0.5 mm [超硬合金球、 $E_1=608\text{GPa}$]の保持具 [炭素鋼と黄銅] 付き球圧子を製作した。

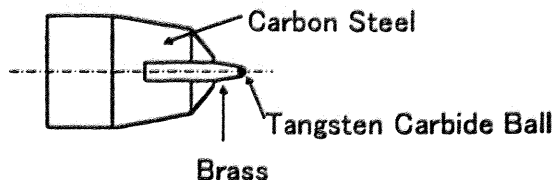


Fig.4 Shape of Ball Indenter with Holder

3.3. 計測法・データ処理法

ロードセルおよびリニアセンサで得られたデータは、12ビットのA/Dボードを介してコンピュータに取り込まれる。このデータに修正トンプソン法を適用し異常値の除去を行った。この処理の結果得られたデータを用いて荷重-変位線図をもとめる。これに基づき式(2)に必要な押込み量、除荷量および最大押込み荷重を決定した。

4. 実験結果および考察

4.1. 押込み曲線

Fig.5 (a),(b)に、アルミ合金試験片に対して0.5 mm球圧子保持具を用いた実験により得られた荷重・変位-時間線図、荷重-変位線図(押込み曲線)の例 ($L_M=1.96\text{N}$)を示す。

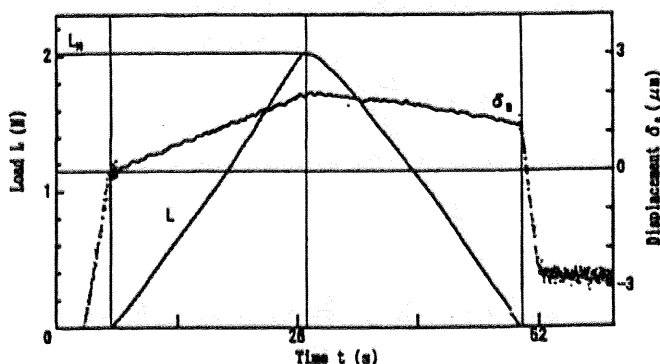


Fig.5 (a) Relationship between Load, Displacement and Time

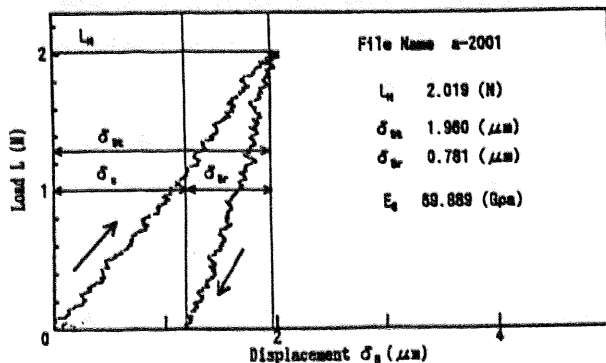


Fig.5 (b) Relationship between Load and Displacement

4.2. 圧子球保持具部弾性変形量

圧子球保持具部の弾性変形量 $\delta_u(\mu\text{m})$ と圧子最大荷重 $L_M(\text{N})$ との関係は、前報¹⁾と同じ方法を用いて決定すれば、 $L_M \leq 2.5\text{N}$ の範囲内で次式のように与えられる。

$$\delta_u = 0.269 \cdot L_M^{2/3} \quad \text{.....(3)}$$

4.3. ヤング率算出結果

次に本方式によりアルミ合金(A2017)、ステンレス鋼(SUS304)、炭素鋼(S45C)試験片に対する実験を行い、式(2)を用いてヤング率を算出した結果を、Fig.6に示す。また、図中にはひずみゲージを用いて試験片のヤング率 E_s を測定した結果を横線で、測定値の各値を白丸印、平均を黒丸印で示した。炭素鋼の実験値はばらつきが大きいものの平均値はひずみゲージによる値に近いものが得られている。

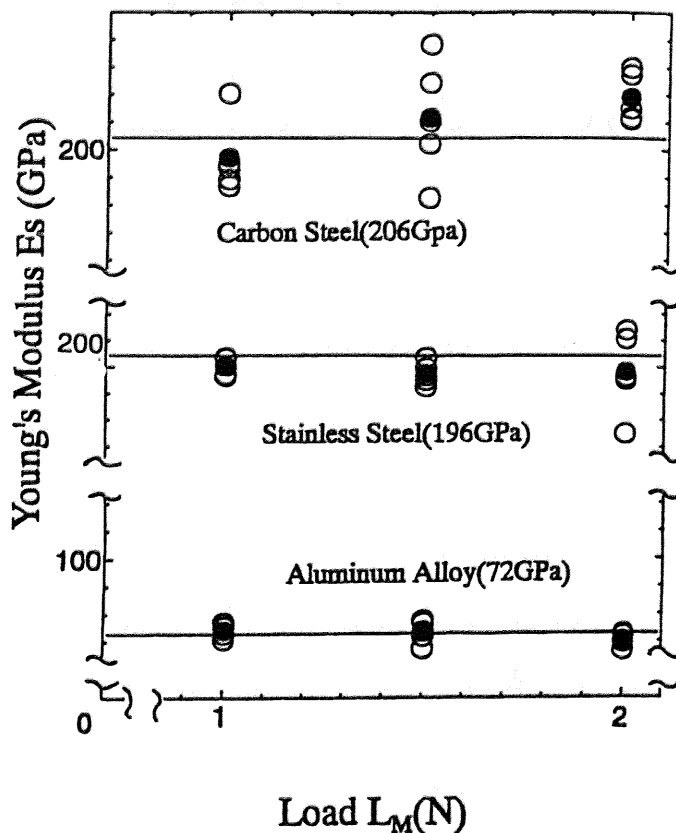


Fig.6 Results of Experiments by Ultramicro Hardness Tester (Mean Value)

5. 結言

- (1)これまでに開発した機型超微小硬さ試験機を用いて従来の1, 5 mm球圧子保持具に加え、新たに製作した0.5 mm球圧子保持具を用いて試験を行った。
- (2)本試験機用に製作した球圧子保持具部の弾性変形量と圧子荷重との関係に関しては、前報と同様に高力黄銅試験片への押込み試験による実験結果を用いて $L_M \leq 2.5\text{N}$ の範囲内で求めた。
- (3)3種類の金属(アルミ合金、ステンレス、炭素鋼)に対して、3段階の設定荷重における試験を行いヤング率を算出したところ、それらの平均値は1, 5 mm球圧子の場合と同様に、ひずみゲージによって求めた値とかなり良い一致を示した。

本研究を遂行するに当たりご協力いただいた四年生の濱岸憲一郎君、吉川裕輔君に感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1)高田,石橋,他:秋田講演論文集('98-8-21 秋田)p7~8