

305. 超微小硬さ試験機による材料特性評価法の研究

A Study on an Evaluational Method of Determining Materials Characteristics Using an Ultramicro Hardness Testing Machine

学 * 斎藤 潮 (新潟大院)

正 石橋 達弥 (新潟大)

有園 大策 (住友金属㈱)

学 福田 義博 (新潟大院)

学 木村 浩和 (新潟大院)

学 吉川 均 (新潟大院)

Ushio SAITO, Tatsuya ISHIBASHI, Yoshihiro FUKUDA, Hirokazu KIMURA, Hitoshi YOSHIKAWA :
Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950-21 JAPAN
Daisaku ARIZONO : Sumitomo Metal Co., Ltd.

Keywords : Ultramicro Hardness Tester, Material Characteristics,
Young's Modulus of Metals, Ball Indenter.

1. 緒言

球の押込み硬さ試験方式を利用して材料の機械的性質を間接的・直接的に測定する方法は、測定の仕方或使用機器の簡便性・迅速性という利点と試験片の形状や大小にはとらわれないなどの利点から、工業界では広く採用され急速な発展を続けている。

特に、現在脚光を浴びている新素材は、材料自身に起因する測定上での多くの難点を含んでいるため、新素材に適した材料特性評価法の確立が急務とされており、なかでも上述したような利点を有する硬さ試験法の利用は、適切な材料評価を可能にするものとして期待を集めている。

そのため、本研究では、最も自動化を図り易い方式として圧子の押込み荷重と変位量(押込み量)を測定し、かつその際得られるデータをコンピュータで処理するとともに試験機の制御も併せて行うためのコンピュータ計測制御式横型超微小硬さ試験機の設計・製作を行った。

同時に、材料特性評価法を確立するための一環として、本試験機を用いて金属に対する超微小押込み試験を行いヤング率の測定を試みた結果を報告する。

2. 実験装置

2.1 測定原理および計測・制御システム

Fig.1に試験機の計測・制御システム図を示す。本試験機の制御装置(パーソナルコンピュータ)に圧子押込み速度・設定押込み荷重・一定荷重保持時間等のデータを入力する。入力された圧子押込み速度データは、I/Oボードを介してパルス発信機に伝えられ、パルス発信機はそのデータに見合ったパルス信号を駆動回路に送ることにより、圧子が固定されているテーブル駆動用ステッピングモーターを作動させ、押込み試験を行

う方式である。なお、本試験機の設計においては、モータ1step当りの圧子の移動量は $0.05\mu\text{m}$ とした。

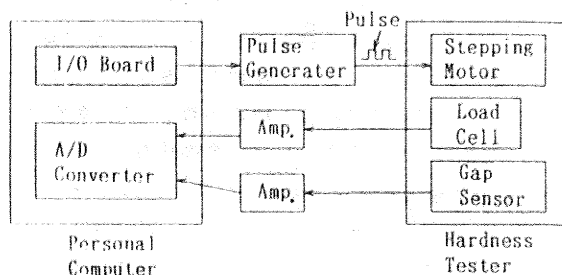


Fig.1 Control System Chart

次に、計測システムとしては、球圧子の後端部に取付けたロードセルにより圧子押し込み荷重が、ギャップセンサーより圧子移動量がそれぞれ得られ、それらのデータは12ビットADコンバータを介してパソコンに取り込まれる。パソコンは、この入力された実際の圧子押し込み荷重データと設定押込み荷重とを比較して、除荷動作、または一定荷重保持動作など予めプログラムされた試験様式に沿った制御を行う。

なお、荷重・変位の測定時間間隔は60msecごとに行われる。

2.2 圧子荷重および圧子押込み量測定部

Fig.2に測定部の詳細を示す。

圧子荷重測定部には、内半径10mm、厚さ0.5mmの円弧部分の外側と内側に計4枚のひずみゲージを貼りつけた真ちゅう製のロードセルを用いた。

変位測定部としては、押込み荷重が微小であることを考慮して、非接触で測定可能なギャップセンサー(AEC 1515)を使用し、圧子の左右に2個取り付けることによって圧子部の傾きの影響を打ち消して、正確な圧子移動

量の測定ができるようにした。さらに、ギャップセンサーのターゲットをマイクロメータを介して試験片のベース部に固定することにより、ギャップセンサーの微調整が容易な構造とした。なお、荷重の分解能は0.07gf/dig、変位の分解能は16nmである。

また試験片は、X-Yマイクロステージ上の真ちゅう板に取り付けることにより、同一試験片上での複数回の実験を行うことが可能である。

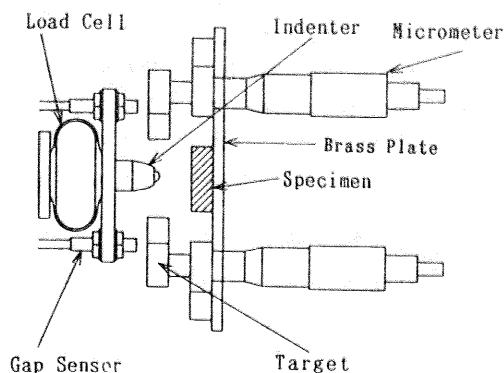


Fig.2 Large Scale View of Measuring Part

2.3 横型超微小硬さ試験機本体

Fig.3に試験機本体の上面図および側面図を示す。

球圧子、ギャップセンサー、ロードセルが一体となった押込み量および圧子荷重の測定部分は、テーブル上のイケール(Angle Rest)に固定してある。

また、試験機枠下部には外部からの振動を防止するため防振ゴムを設置し、風の影響を防ぐためにアクリルのケースで試験機を覆った。

通常の硬さ試験機は、測定方向(圧子の試験片への侵入方向)が縦方向なのに対し、本試験機では測定方向を横向きとしたことにより、押込み方向への圧子の振動による影響などを除外できる構造とした。

3. ヤング率の算出式

本試験機を使用して、金属試験片のヤング率Esを迅速に算出できる式として次の式を用いた。

$$E_s = 0.9 / \left[\frac{2}{3} \frac{Z_{br}}{L_m} 2 \left\{ D \left(Z_{bt} - \frac{Z_{br}}{2} \right) \right\}^{1/2} - I(E) \right] \cdots (3-1)$$

ここで、 L_m は押込み荷重、 D は圧子球直径、 Z_{bt} は押込み量、 Z_{br} は除荷量、 $I(E)$ は圧子球の弾性パラメータである。

4. 実験の結果

本試験機による測定例を以下に示す。

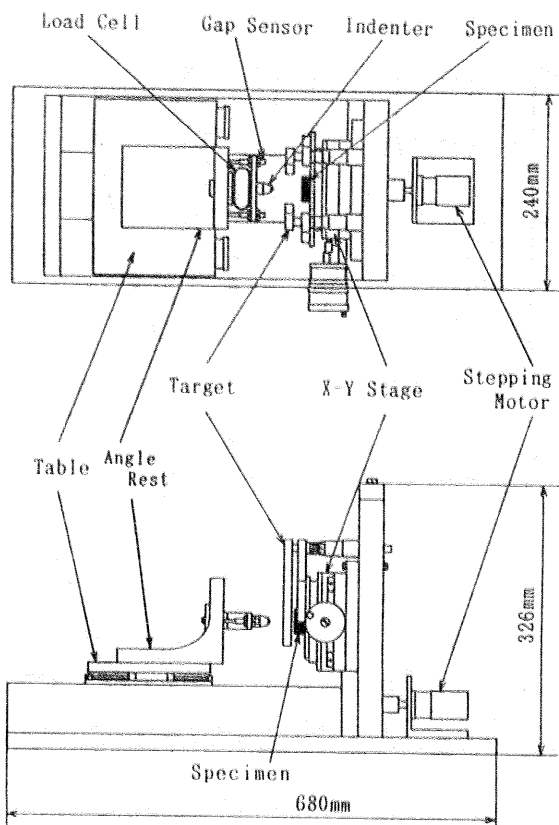


Fig.3 Structure of Ultramicro Hardness Tester

Fig.4～Fig.7は、設定荷重200gf、1000gfに達するまでおよそ0.5μm/sの一定の低速度で押込んだのち、同速度で除荷を行った結果を示したものである。試料はアルミ合金とS45Cで、試験片(直径50mm、厚さ16mmの円柱)はエメリー紙2000番で研磨したのち、微粒コンパウンドで一様に仕上げた。測定用球圧子には、直径5mmの超硬合金球(タングステンカーバイド)が先端部に取り付けられている。これらの図からわかるように、圧子は試料表面に接触するまでは一定速度で動き、接触した時点で速度が変化すると共に荷重も立ち上がっていき、設定荷重に達した後の除荷過程においては、弾性回復の様子が示されている。それぞれの押込み曲線を比較すると、同じ材質でも荷重の大きい方が押込み量は大きく、また荷重の小さい方が押込み量に比較してより大きな弾性回復を示す結果となった。結果をTable.1に示す。

すでに本試験片の単軸圧縮試験によって求められているアルミ合金のヤング率は7400kgf/mm²、S45Cのヤング率は21000kgf/mm²であることに対応させると、式(3-1)で算出したヤング率(Fig.4～Fig.7の場合)は、それぞれ20～30%低い結果となっている。この原因としては、本試験機の構造上、圧子球部および試験片取

Table.1 Material Characteristics Measured

by Hardness Tester

Material	Maximum Load (gf)	Penetration Depth (μm)	Elastic Recovery (μm)	Young's Modulus (kgf/mm^2)	
				Eq(3-1)	Eq(3-1)&Eq(4-1)
Aluminum Alloy	200	0.62	0.58	6100	7350
	1000	1.96	1.57	6250	7400
S45C	200	0.41	0.35	13500	20700
	1000	1.41	1.07	11800	19600

付け部の微小な変形量なども測定された圧子押込み量等に含まれるためと考えられる。そのためヤング率算出式(3-1)において、圧子押込み量 Z_{bt} 、除荷量 Z_{br} からそれぞれ幾らの量(すなわち補正量)を差引いた場合に、単軸圧縮試験で得られたヤング率に一致するかを検討し、それらを荷重～補正量の関係で示したのがFig.8である。

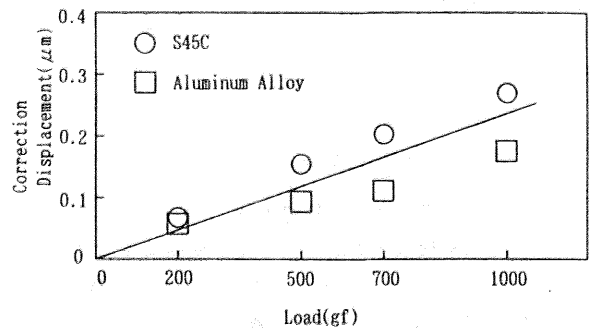


Fig.8 Diagram between Load and Correction Displacement

本試験機で得られた範囲では、荷重と補正量の関係はほぼ直線関係を示し、これを次式のように与え、

$$C = 2.4 \times 10^{-4} \cdot L_m \quad \dots \dots (4-1)$$

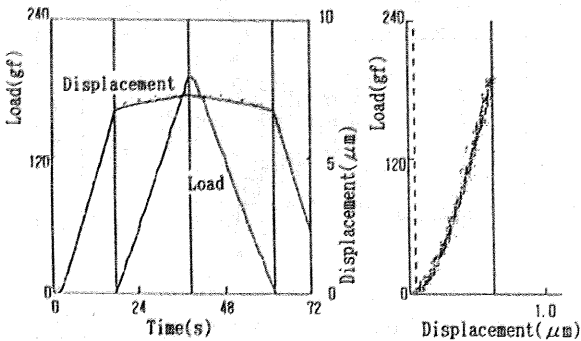
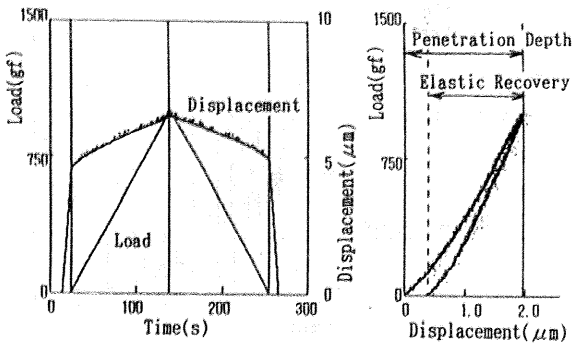
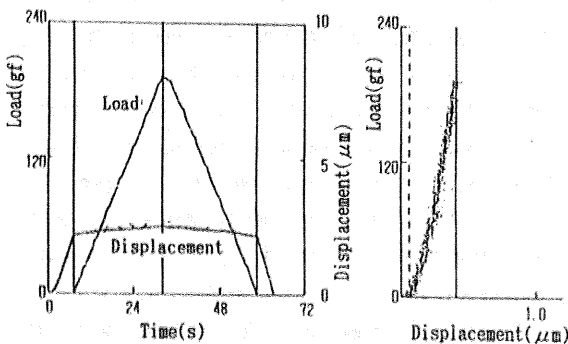
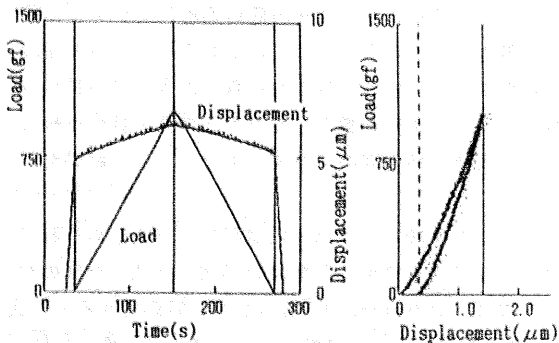
さらに式(4-1)を式(3-1)に代入して算出したヤング率の値を、Table.1の右側に示した。

5. 結言

試作した超微小硬さ試験機による金属試験片への押込み試験で、荷重・変位-時間線図および荷重-変位線図が得られ、また圧子の押込み量、除荷量に関する試験機構上の補正を行うことにより、押込み量が数百nm程度の場合においても再現性のよいヤング率の測定が可能であることが確認された。

今後の課題としては、①荷重および変位の測定に入るノイズの原因を、測定方法あるいは電子回路等の点から検討する。②より小さい直径の球圧子を用いた低荷重の押込み試験、などが挙げられる。

最後に本研究を遂行するに当たり御協力いただいた、屋舖実君(4年)に感謝申し上げます。

Fig.4 Indentation Curve (Aluminum Alloy, $L_m=200\text{gf}$)Fig.5 Indentation Curve (Aluminum Alloy, $L_m=1000\text{gf}$)Fig.6 Indentation Curve (S45C, $L_m=200\text{gf}$)Fig.7 Indentation Curve (S45C, $L_m=1000\text{gf}$)