

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。

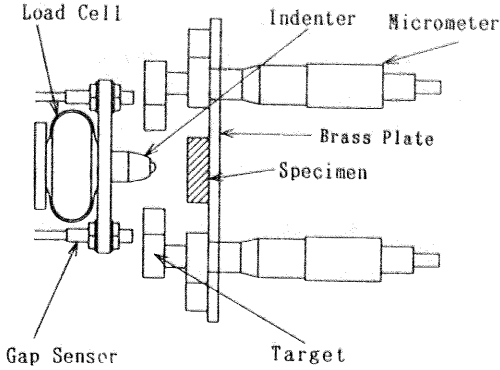


Fig.2 Large Scale View of Measuring Part

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し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、押し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。

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

ここで、 L_m は押し込み荷重、 D は圧子球直径、 Z_{bt} は押し込み量、 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。

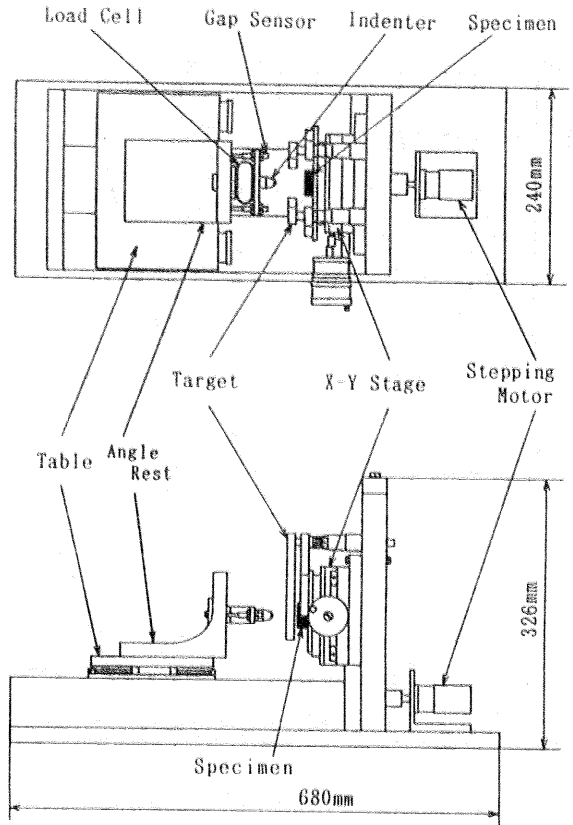


Fig.3 Structure of Ultramicro Hardness Tester

Fig.4~Fig.7は、設定荷重200gf、1000gfに達するまでおよそ0.5 μ m/sの一定の低速度で押し込んだのち、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。それぞれの押し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し込み量は大きく、また荷重の小さい方が押し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

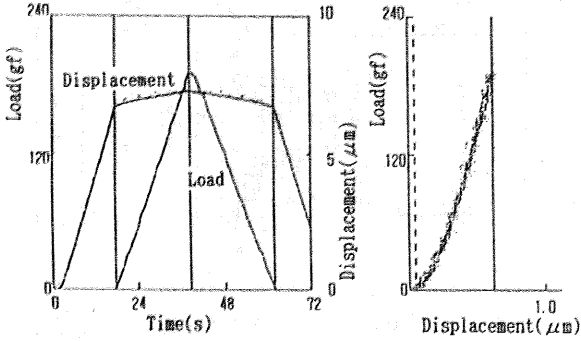


Fig.4 Indentation Curve (Aluminum Alloy, Lm=200gf)

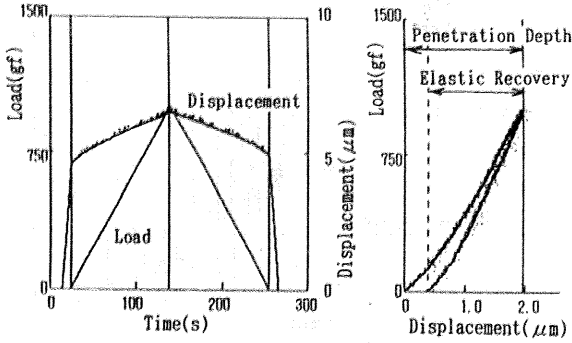


Fig.5 Indentation Curve (Aluminum Alloy, Lm=1000gf)

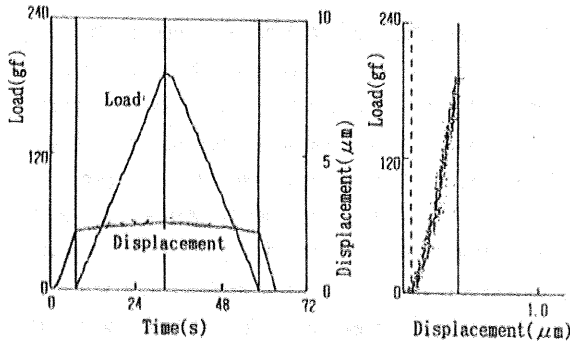


Fig.6 Indentation Curve (S45C, Lm=200gf)

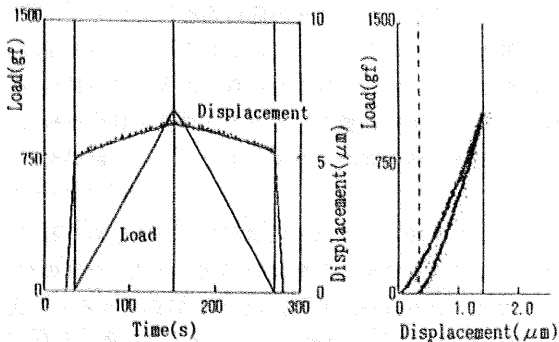


Fig.7 Indentation Curve (S45C, Lm=1000gf)

付け部の微小な変形量なども測定された圧子押し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、圧子押し込み量Zbt、除荷量Zbr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。

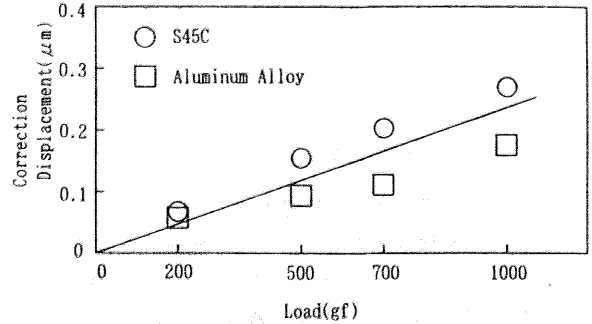


Fig.8 Diagram between Load and Correction Displacement

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、

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

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し込み試験で、荷重・変位-時間線図および荷重-変位線図が得られ、また圧子の押し込み量、除荷量に関する試験機構上の補正を行うことにより、押し込み量が数百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し込み試験、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。