620. 178. 152. 341:620. 178. 151

微小かたさの試験条件に関する研究*

吉 野 利 男**

Study on the Test Conditions of Micro-Hardness

by Toshio YOSHINO

Several experiments of micro-hardness have been performed on Al and Mg single crystal in order to clarify the effect of test conditions.

The micro-hardness increased rapidly at first with the increasing of test load in the small load range, then decreased gradually and became finally independent of the test load. Such phenomena were observed in all the test conditions. Firstly, it was supposed that the increasing phenomenon of micro-hardness in the small load range was caused by the external vibrations which came from the experimental station. Secondly, it was verified that the load-dependency of micro-hardness which show that the micro-hardness decreased with the increasing of test load was due to the heterogeneous deformation of indentation and the dissimilar indentation with respect to the test load.

So, the micro-hardness testing have been recommended that the loading speed should be kept about 10 micron/sec and the loading time of indenter kept below 10 sec.

1. 緒 言

金属の微小かたさが試験条件によって異なるということは、他の機械的試験結果と同じように起ると考えられるし、また実際に従来の部分的実験によっても示されている。さらに微小かたさが押込荷重によって異なるということが従来の多数の研究からわかる。このような事実に対する“原因に関する研究”および微小かたさ試験の立場から行なった“対策に関する研究”はそれほど組織的に行なわれていないのが現状である。微小かたさに与える試験条件の影響を系統的に調べた研究は少なく⁽¹⁾、また微小かたさの押込荷重による影響がないという結論⁽²⁾もあるので、以上二つの影響をまとめて試験条件の影響として研究を行なうことにした。微小かたさ試験における試験条件には

- a : 微小かたさ計の種類(直接荷重式、てこ荷重式)
- b : 押込荷重速度
- c : 押込荷重保持時間
- d : 測長顕微鏡の種類(レンズの良否)
- e : 振 動

の五つが考えられる。また微小かたさが押込荷重によって異なる原因として

- f : 低荷重における荷重誤差

g : 圧子の幾何学的形状誤差

h : 測定誤差

i : 試験片表面の研磨方法(表面層の発生)

j : 金属の変形機構(弾性回復, 異方性)

の五つがあげられる。

このほか試験試料が単結晶、多結晶あるいは合金等の場合における粒界または金属組織による影響も考えなければならないが、著者によるマグネシウム合金の微小かたさ試験結果に関する報告⁽³⁾にあるように、多結晶と単結晶の微小かたさのくぼみは本質的に異なった変形機構のもとで生じ、多結晶における押込荷重の影響も本質的には単結晶における押込荷重の影響で説明できるという***ことから、微小かたさに対する試験条件の本質的な影響は単結晶について調べれば良いということになる。

試験条件のうちで、低荷重における荷重誤差および圧子の幾何学的形状誤差については微小かたさ計が適当なものであれば問題はないし、またこれだけに関した研究もある⁽⁴⁾ので、本研究から省略することにした。

そこで、本研究では単結晶を用いて試験条件による微小かたさの影響を調査し、その後得られた結果に対してさらに実験を行なって考察した。

2. 実 験 方 法

用いた試験片はすべり変形機構の極端に異なる2種

* 昭和 39 年 4 月 2 日 第 41 期通常総会講演会において論文講演として講演, 原稿受付 昭和 38 年 11 月 30 日。

** 正員, 武蔵工業大学(東京都世田谷区玉川等々力町 1 丁目)。

*** Bückle よりの私信。

類の金属で、純度約 99.9%, 厚さ 3 mm, 直径ほぼ 10 mm のアルミニウム単結晶 (3 mm の圧延板を再結晶法によって作った粗大結晶を切取ったもの) と、同じ純度のマグネシウム単結晶 (溶融法によってできた粗大結晶から 10×10×10 mm の大きさに糸のこを用いて切出したもの) である。なお参考のためにプレクシガラス (10×5×20) を用いた*。

試験片の表面研磨の寸法および表面状態を第 1 表に示す。

第 2 表には本研究で行なった実験の種類、微小かたさ計略号、試料の記号について示している。表中 ④' とあるのは④の微小かたさ計と全く同一形式のものであるが、数年使用されたものである。

第 3 表には、用いた各種微小かたさ計の性能、測長顕微鏡等について示している。

第 1 表

試料	種類	アルミニウム単結晶 (Al)		マグネシウム単結晶 (Mg)
	大きさ	3×10φ		10×10×10
	記号	A	B	C
研 磨 順 序	1	軽く紙やすり (04) 研磨		軽く紙やすり(04)研磨
	2	電 解 研 磨 (りん酸+クロム酸溶液) 10V, 1A/cm ² 約 2 分間	化 学 研 磨 (りん酸+硝酸溶液) 80°~90°C 約 2 分間	化学研磨 (第1次) (塩酸 10% アルコール) 溶液 3~6 分間
	3			焼なまし 200°C 2 時間
	4			ごく軽く紙やすり(04) 研磨
	5			化学研磨 (第2次) (前と同じ溶液)1~2分間
表面		鏡	面 鏡	面 鏡

圧子による押込荷重保持時間は、実験 II-b を除き 10 秒を標準とし、押込荷重速度は圧子先端が試料に接触する前の圧子の押込速度をもって表わし、ほとんど各実験において用いた微小かたさ計の特性に従った。また微小かたさは 5 回以上の繰返し測定を行なって平均値を求めた。次に各実験の方法を示す。

実験 I-a 現在わが国にある微小かたさ計のうちで代表的な 5 種類を選出して、同一試験片によって微小かたさ計の影響を調査した。この場合くぼみの測定は各微小かたさ計の測長顕微鏡を用いた。

実験 I-b 微小かたさ計④を用いて種々な荷重でつけた圧こんを、5 種類の微小かたさ計に付属してい

第 2 表

種 類	記 号	微小かたさ計 (略 号)	試 料		
			種 類	記号	番 号
微小かたさ計	かたさ計の種類	I-a	④ ④' ⑥ ⑦ ⑧	A1	A No. 1
			④ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	Mg	C No. 4
	測長顕微鏡	I-b	④ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	A1	A No. 4
	荷 重 速 度	I-c	④ ⑥ ⑦ ⑧	A1	A No. 5
押 込 み	荷 重 速 度	II-a	⑥	A1	A No. 2
	荷重保持時間	II-b	④	A1	A No. 3
			④	Mg	C No. 5
表 面	研 磨 法	III-a	④	A1	A No. 1
	材料の置き方	III-b	④	A1	A No. 3
			④	Mg	C No. 7
環 境	振 動	IV	④	A1	A No. 6

第 3 表

微小かたさ計		略 号	④ (または ④')	㊦	㊨	㊩	㊪
		製造会社	大洋テスター会社	Torsion & Balancing Co.	東 京 衡 機	明 石 製 作 所	Leiz Ltd.
測長顕微鏡	倍 率	対物レンズ	20, 60	10, 20, 50	10, 20, 40	20	10, 40
		接眼レンズ	10	10	10	10	10
	製造会社	対物レンズ	オリンパス光学	(ア メ リ カ)	高 遠 工 業	日 本 光 学	(ド イ ツ)
		接眼レンズ	高 遠 工 業	(ア メ リ カ)	高 遠 工 業	日 本 光 学	(ド イ ツ)
押込荷重	機 構		て こ 式	て こ 式	直 接 式	直 接 式	て こ 式
	範 囲 g		5~500	1~10 000	20~1 000	25~1 000	15~1 000
	速 度 制 御	装 置	な し	あ り	あ り	な し	あ り
		可 否	否	可	可	否	可
	保持時間制御	装 置	な し	な し	あ り	な し	あ り
		可 否	可	可	可	可	可

注 括弧を付したものは製造会社が不明である。

* プレクシガラスに対する微小かたさ変化

荷 重 g	10	15	20	25	50	75	100	200	300	500
微小かたさ	18.8	18.7	18.5	18.5	18.7	18.8	18.6	18.8	19.1	18.9

る測長顕微鏡を用いて計測して、測長顕微鏡の影響を調査した。

実験 I-c 直接式として式の荷重機構が微小かたさの測定値におよぼす影響を調査した。くぼみをつけた微小かたさ計は④, ⑤, ⑥および⑦で、くぼみの対角線長さは微小かたさ計④に付属している測長顕微鏡を用いて計測した。

実験 II-a 微小かたさが押込荷重速度によってどのように変化するかを調査した。この場合押込荷重保持時間は 10 秒 (一定) とし、押込荷重速度は、11 ~ 350 μ/s の間を変化させた。

実験 II-b 押込荷重速度をほぼ一定 (100 μ/s) にして、荷重保持時間を 5~300 秒の間を変化させた時の微小かたさを測定した。

実験 III-a 試料表面の最終的研摩である電解研摩と化学研摩の相違による微小かたさの差を調査した。実験 I-a で用いた試料を 200°C で 2 時間焼なましたのち、電解研摩し直した場合の試料表面の微小かたさと、この試料をまた化学研摩した試料表面の微小かたさを測定した。

実験 III-b ダイヤモンド圧子と単結晶試料の相対的な位置関係による影響を調査した。圧子を標準状態に固定したまま試料を 0° から 180° まで平面的に 30° おきに回転させて、微小かたさを測定した。

実験 IV 微小かたさ測定は押込荷重が数グラムから数百グラムにわたるくらいに低いいため、いろいろ

第 4 表

略 称	摘 要
I	机の足の下に防振用ゴムをそう入した実験台上にさらに防振ゴムを敷き、その上に微小かたさ計を置く。
II	机の足の下に防振用ゴムをそう入した実験台上に直接微小かたさ計を置く。
III	コンクリート床上に直接実験台を置き、その上に直接微小かたさ計を置く。
IV	III の状態の実験台上で微小かたさ計から 1 m 離れて 1/16 馬力のオシログラフ用電動機を回転させる。

第 1 図

外的な振動を受けやすい。これまでの実験はすべて普通の環境の実験室で微小かたさを測定したものであるが、このような場合建物からくる振動の影響がどの程度であるか知り、さらに振動の影響を推定するため、実験室にある微小かたさ計に第 4 表のような防振状態および外的振動を与えて微小かたさを測定した。

3. 実験結果

3.1 微小かたさ計の影響 3.1.1 種類の影響

アルミニウムに対する結果を第 1 図に、マグネシウムに対する結果を第 2 図に示す。それぞれ同一の試料であるにもかかわらず微小かたさ計により異なった微小かたさが得られ、しかもどの微小かたさ計についても低荷重の範囲では押込荷重が増加すると微小かたさも増加し、押込荷重がさらに増加するに従って微小かたさが減少してしだいに一定になるような傾向を示している。一方各微小かたさ計による主要荷重における測定値のばらつきはアルミニウムに対し第 5 表、マグ

第 5 表

g		寺 沢 式	Kentron	東京衡機	明 石 式
25	最 大	+5(%)	+2(%)	+5(%)	+2(%)
	最 小	-5	-1	-4	-2
50	最 大	+3	+1.5	+1	+1
	最 小	-2	-5	-3	-1
100	最 大	+2	+1	+2	+0.5
	最 小	-0.2	-0.5	-3	-1
200	最 大	+0.2	+1	+2	+2
	最 小	-5	-1	-1.5	-1
500	最 大	+1	+2		+1
	最 小	-5	-2		-2

第 2 図

ネシウムに対して第6表のようであった。どの微小かたさ計についても、押込荷重の増加に伴い、微小かたさが増加するような範囲では微小かたさのばらつきが多いことがわかる。しかし押込荷重がさらに増加して微小かたさが減少してしだいに一定になるという傾向は、だいたいどの微小かたさ計についてもいえるようである。

3.1.2 測長顕微鏡の影響 第3図にその結果を示している。同じくばみであり、同じ測定者であるにもかかわらず、かなり大きな測定差を示していることがわかるが、このことから前の実験における微小かたさ計間の微小かたさの差異は、各微小かたさ計に付属している測長顕微鏡にかなり関係していることが想像された。

3.1.3 荷重機構の影響 実験の結果を第4図に示している。これによれば、くばみを測定する測長顕微鏡が同じであれば、各微小かたさ計の荷重機構による微小かたさの差は最大1以下であることがわかった。

以上、微小かたさ計に関する3種類の実験から次のことがいえる。すなわち 1) 同一試料を用いて微小かたさを測定した時に見られる微小かたさ計間の微小かたさの差異は、微小かたさ計の荷重機構による影響よ

第 6 表

g		寺沢式	Kentron	東京衡機	明石式	Durimet
25	最大	+4(%)	+3(%)	+5(%)	+10(%)	+8(%)
	最小	-1	-2	-6	-8	-8
50	最大	+3	+2	+2	+5	+2
	最小	-3	-1	-2	-2	-4
100	最大	+2	+1	+3	+2	+2
	最小	-2	-1	-4	-2	-2
200	最大	+3	+2	+2	+4	+5
	最小	-0.5	-1	-4	-4	-1

第 3 図

りも、各微小かたさ計に付属している測長顕微鏡に少なからず影響する。2) 微小かたさ-荷重の関係について見れば、微小かたさは押込荷重に関して常に一定であるということは考えられず、きわめて低い荷重範囲では微小かたさのばらつきはかなり大きい。

3.2 押込みの影響 **3.2.1 押込荷重速度の影響** 実験の結果を第5図に示している。きわめて低い荷重範囲を除けば、だいたい押込荷重速度が速いほ

第 4 図

第 5 図

第 6 図

どかたく測定される。このことは第6図の微小かたさ-荷重線図からも明らかである。さらにこの図を見るときわめて低い荷重範囲では押込荷重速度が早いほどやわらかく測定されるという逆の傾向になっていることがわかる。

3・2・2 押込荷重保持時間の影響 アルミニウム単結晶に対する結果を第7図に、またマグネシウム単結晶に対する結果を第8図に示す。2種の金属について同じように、押込荷重がきわめて低い範囲を除けば、荷重保持時間が長くなるに従いやわらかく測定される。このことはアルミニウム単結晶に対する第9図およびマグネシウム単結晶に対する第10図の微小かたさ-荷重保持時間線図からもわかる。またさらに、押込荷重がきわめて低い範囲では、荷重保持時間による微小かたさの変化が、荷重の大きい場合の変化よりかなり大きいことがわかる。

以上2種類の押込条件に関する実験から、微小かた

さは押込条件によってかなり変化するとともに、押込荷重によって微小かたさが変化するという現象は、押込条件を変えても現われた。

3・3 表面の影響 3・3・1 研摩方法の影響

この研究において用いた試料はすべて電解研摩し、その表面の微小かたさを測定した。これまでの実験では押込荷重が低い範囲で、押込荷重が増加するに従って微小かたさが増加したのち減少するようになり、さらに押込荷重が増加するとしだいに一定になるという傾向

第 7 図

第 8 図

第 9 図

第 10 図

第 11 図

が認められた。

押込荷重が低い範囲で起る微小かたさのこのような変化は、表面研摩方法の影響とも考えられるので、研摩方法の違いによる影響を調べた結果が第11図である。微小かたさは、研摩方法にほとんど無関係に、これまでの実験と同じように変化した。

3.3.2 試料の置き方による影響 アルミニウム単結晶に関する結果を第12図に示す。回転角は任意に決めた試料の最初の位置を 0° として、それより 30° 、 60° 、 90° と変化させた場合の結果である。一方マグネシウム単結晶に関する結果を第13図に示す。回転角はアルミニウム単結晶と同じように任意に決めた試料の最初の位置を 0° として 10° 、 20° 、 30° および 50° とした結果である。二つの試料ともに試料の置き方によって微小かたさが実験した範囲ではどの荷重でも、アルミニウム単結晶に対してだいたい1.5くらい、マグネシウム単結晶に対してだいたい5~10くらい変化している。一方押込荷重との関係では、いずれの回転角においても荷重が増加するに従い微小かたさは減少して、しだいに一定となる。

3.4 振動の影響 第4表の条件に従って実験した結果を第14図に示している。防振状態が良くなるに従い、微小かたさはすべての押込荷重に対してかたくなり、微小かたさの極大値は押込荷重の低いほうにおいて現われ、外的振動が大きくなるに従い微小かたさはやわらかくなり、微小かたさの極大値は押込荷重の

第12図

第13図

大きいほうに移動するようである。このことは第14図において鎖線で示されている。

この事実を拡張して見ると、うける外的振動がしだいになくなると、微小かたさの極大値の現われる押込荷重はしだいに低いほうに移動し、ほとんど外的振動がなくなった時には、微小かたさは押込荷重が増加するに従い単に減少してしだいに一定の値に達するという傾向になるものと想像する。

4. 考 察

以上八つの実験から次のことがわかった。

(1) 全般的に見て、単結晶の微小かたさは押込荷重によってそれぞれ異なった値になるという傾向—いわゆる荷重依存現象—を示し、しかも荷重の低い範囲において微小かたさが極大になることがわかった。

(2) 個々の実験についてみると、微小かたさ計の種類が違くと微小かたさはかなり大きな相違を見せ、この相違はそれぞれの微小かたさ計の良否にももちろん関係するが、このほかつてくぼみの対角線長さを測定する測長顕微鏡の種類におおいに関係している。さらに押込条件(荷重速度や荷重保持時間)、試料と圧子の相対的位置関係、表面の研摩方法の影響などによって微小かたさは大きく変化する。しかし微小かたさにおいて極大値を示す荷重の大きさは試料の平面的な置き方や表面仕上の状態にはなんら影響しないが、押込みの条件によって極大値を示す押込荷重は高いほうに移動する。そしてこの傾向は振動の影響と非常に良く類似していることがわかった。

ここで押込条件と振動の影響の現われ方が類似しているということについて考えて見る。押込速度が速くなるに従い、変形速度の効果により微小かたさはかたくあられ、荷重保持時間が長くなるに従い、クリープの効果によって微小かたさはやわらかくあられることが一般に考えられるので、第5図および第7図において押込荷重が高い時に見られた微小かたさの変化は、変形速度およびクリープの効果に基くものと想

第14図

相似則が成立すれば、(2)式における $\bar{\epsilon}$ とくぼみの大きさとの間には一定の比例関係が成立しなければならない。干渉しま模様を利用して永久くぼみ周辺の盛上がり高さを求めた実験⁽⁹⁾によれば、第16図のようにくぼみの大きさとの間において比例する領域と比例しない領域があり、これが微小かたさの荷重依存現象に関連していると結論している。したがって、もし干渉しまを利用した実験結果が正しいならば、わん曲した長さとくぼみの大きさとの間にも同様の関連が認められるものと思う。

6. 実験結果

測定誤差に関する実験結果を第7表および第17図に示す。第7表において d_i は測定値、 d_m は測定平均値、 $\bar{d}$ は電子顕微鏡によって測定した値である。測定者によって実際より常に大きく測定しすぎたり、または常に小さく測定しすぎたりすることがわかるが、いずれの場合も平均誤差は対角線長さが大きくなるに従

第 16 図

い大きくなる。一方、標準偏差はかなり大きな範囲にばらついていることがわかった。しかしこのようなばらつきの中には個人によって一定と考えられる誤差がふくまれているので、これは個人の定誤差とみて補正したあとの標準偏差は0から0.6の間になった。そこで実際の微小かたさの測定にこの定誤差を補正するために求めた実験式が

$$\text{測定者④に対し } S=0.028 \sqrt[3]{\bar{d}^2}$$

$$\text{測定者⑤に対し } S=0.056 \sqrt[3]{\bar{d}^2}$$

である。この実験式は対角線長さが約 50μ 以下のものに対して求めたものであるが、このような関係が 50μ 以上の対角線に対しても適用できると考えて測定平均値 d_m から電子顕微鏡値 $\bar{d}$ を求めると

測定者④に対し

$$\bar{d}^3 - (3d_m - 0.028^3)\bar{d}^2 + 3d_m^2\bar{d} - d_m^3 = 0 \dots (3)$$

第 17 図

第 7 表

区分 算式		標準偏差		平均誤差		誤差率				
		$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (d_i - \bar{d})^2}$		$S = d_m - \bar{d}(\mu)$		$\epsilon = \frac{S}{\bar{d}} \times 100 (\%)$				
		測定者④		測定者⑤		測定者④	測定者⑤			
植類	大きさ(μ)	Min	Max	Min	Max			測定者④	測定者⑤	
		実驗	補正	実驗	補正	測定者④	測定者⑤			
A	6.53 6.72	実驗	0.2	0.9	0.2	0.5	+0.16	-0.04	+2.8	-3.4
	補正	0	0.6	0	0.4					
B	13.95 14.20	実驗	0.2	0.8	0.2	1.1	+0.14	-0.43	+2.0	-2.9
	補正	0.1	0.4	0	0.6					
C	21.25 22.45	実驗	0.05	1.0	0.6	1.4	+0.23	-0.55	+1.0	-2.6
	補正	0	0.4	0.1	0.2					
D	31.75 31.90	実驗	0.2	0.8	0.4	1.2	+0.28	-0.62	+1.0	-2.1
	補正	0	0.3	0	0.4					
E	41.30 42.20	実驗	0.2	1.0	0.6	1.4	+0.12	-0.78	+0.8	-1.8
	補正	0	0.4	0	0.5					
F	48.30 49.07	実驗	0.5	1.5	0.4	1.0	+0.46	-0.78	+0.6	-0.9
	補正	0	0.6	0	0.5					
実驗式							$S = 0.023 \sqrt[3]{\bar{d}^2}$	$S = 0.056 \sqrt[3]{\bar{d}^2}$		

測定者③に対し

$$\bar{d}^3 - (3d_m + 0.056^3)\bar{d}^2 + 3d_m^2\bar{d} - d_m^3 = 0 \cdots \cdots (4)$$

となった。

測定者④により実際に微小かたさ試験を行ない、(3)式により補正後のくぼみの対角線長さから微小かたさを求めた結果を第 18 図に示す。補正した場合と補正しない場合とでは微小かたさは多少差があるが、今まで述べたような荷重依存現象は認められる。

第 19 図にはくぼみの対角線の比を計算した結果を示している。微小かたさは押込荷重が増加するに従い減少しながらしだいに一定となる傾向と一致して、対角線の比の変化もくぼみが大きくなるに従いしだいに一定値になる。

第 20 図には異方性の大きいマグネシウム単結晶を用いた場合のくぼみの対辺のわん曲の長さに関する結果を示している。わん曲の長さはくぼみの長さの平均値に比例しない部分と比例する部分とが、ちょうど微小かたさが押込荷重に依存する部分と依存しない部分と一致している。これは第 16 図における結果と全く同様の傾向にあることがわかる。

この結果、塑性的永久くぼみは周辺の盛上りの高さの低い所でわん曲の長さも短く、盛上りが高くなるに従いわん曲の長さも長くなるような形状をなし、しかもくぼみが小さい場合はくぼみが大きい場合より正方形に近い形をなしていることがわかる。

7. 結 論

再結晶法によって製作したアルミニウム単結晶と、溶融法によって製作したマグネシウム単結晶試料について、微小かたさ試験における試験条件を種々に変えて微小かたさを測定して、その影響を調査して以下のことがわかった。

1) 微小かたさは微小かたさ計の種類に関係なく荷重依存現象を示す。微小かたさ計相互の微小かたさの相違は、微小かたさ計が置かれている実験室の状況と測長顕微鏡におおいに関係する。

2) 微小かたさ計の荷重機構による微小かたさの差は小さい。また荷重機構が直接式とかてこ式とかに関

第 18 図

係なく荷重依存現象を示す。

3) 測長顕微鏡の種類の違いによる微小かたさの違いはかなり大きい。

4) 押込速度に関係なく微小かたさは一つの極大値をもつ荷重依存現象を示す。

5) 荷重保持時間に関係なく微小かたさは一つの極大値を持つ荷重依存現象を示す。保持時間が長くなると微小かたさはやわらかくなる。

6) 圧こんの対角線と単結晶試料の置き方に関係なく、微小かたさは一つの極大値を持つ荷重依存現象を示す。

7) 試料表面の電解研磨あるいは化学研磨には関係なく、微小かたさは一つの極大値を持つ荷重依存現象を示す。しかし電解研磨を行なった場合のほうがかたかく現われるが、荷重が高くなるに従い電解研磨と化学研磨の差はなくなるようである。

8) 微小かたさ-荷重線図において現われる微小かたさの極大値は、慣性および振動などによる過負荷に原因している。したがって単結晶の微小かたさ-荷重の関係は荷重の増加に従って微小かたさが徐々に減少して、しだいに一定値に近づくような現象になるのが正しいのではないかと思う。

9) 普通の微小かたさ試験において、低荷重より荷重が増加するに従って微小かたさが徐々に減少し、しだいに一定値に近づく現象の原因は、くぼみの異方的変形と押込荷重に関してくぼみが非相似的形状をもつ

第 19 図

第 20 図

ていることに関係している。

この論文を完成するに当り終始ご指導してくださいました東京大学 吉沢武男教授および常にごべんたつしてくださいました武蔵工業大学 沖島喜八教授に厚くお礼申し上げます。なお定くばみ、ならびに微小かたさ計を快よく使用させてくださいました明石製作所の方々に感謝申し上げます。

文 献

- (1) H. Bückle, *Metallurgical Review*, 4-13 (1959), 67.

- (2) 明石, かたさ研究会資料, 整理番号 38-280.
 (3) 吉野, *J. Gov. Mech. Lab.*, 5-1 (1959), 59.
 (4) E.R. Jones & B.W. Mott, *J. Inst. Metals*, 77 (1950), 623; R.F. Campbell & others, *Trans. ASM*, 40 (1948), 954.
 (5) G.H. Townend, *J. Sci. Instr.*, 24 (1947), 186.
 (6) H. Bückle, *Rev. Métall.*, 5 (1954), 1.
 (7) R. Mitsche & E.M. Onitsch, *Mikroskopie*, 3(1948), 257.
 (8) H. Bückle, *VDI-Ber.*, 11 (1957), 9.
 (9) たとえば H. Bückle, *Z. Metall.-kde.*, 45 (1954), 623.

討 論

【質問】 (1) 緒言にある多結晶と単結晶における押込荷重の影響とは、荷重依存性の意味か、荷重速度の意味か、荷重保持時間の意味か、あるいは、それら全体の意味か、明確にしてほしい。

(2) 本研究で使用された単結晶のかたさは $H_V 50$ 以下の比較的やわらかいものだが、 $H_V 100$ 程度あるいはそれ以上のものでも同様な傾向が認められるか。

(黒木剛司郎)

【回答】 (1) 論文に記述した意味は荷重依存性のことである。すなわち、押込荷重を大きくしてくばみが大きくなると、結晶境界の影響をうけるチャンスが多くなる。したがって、くばみが非常に小さくて境界の影響をうけない場合と境界の影響を十分うける場合の極端な場合を考えることができるからである。

(2) この研究のような $H_V 50$ 以下の単結晶の場合も、また $H_V 100$ 程度またはそれ以上の場合でも、程度の差はあるかと思うが、全く同様の傾向が認められるものと考えている。

たとえば、荷重速度の影響に関しては、明石博士は $H_V 120$ および 700 程度の鉄鋼試料につき、5 g および 25 g の押込荷重の場合、荷重速度の増加によってやわらかくなることを実証した。

また、荷重保持時間の影響に関しては、その原因は全く金属のクリープの効果(場合によっては多少外的振動の影響をうける)であるので、 $H_V 100$ 程度あるいはそれ以上のものでも保持時間の影響は少なくなるが、本研究の結果と同様になるものと考えている。

【質問】 (1) 文献(3)、および 1113 ページ脚注に関連して鑄鉄のごとき材料の微小かたさ測定条件は、本論文の結論がどの程度あてはまると考えてよいのか。

(2) 特殊元素を含んだ鑄鉄材料(Ti, V 入り)はもちろん、普通鑄鉄でも組織内かたさのばらつきがかなりあるが、これを極力少なくするためにはどのような

な実践手段が提唱されるか。

(3) 微小かたさの荷重依存性を鑄鉄組織と対比して論じていただきたい。

(4) 以上三つの質問は摩擦材料としての鑄鉄を論ずる上にたいせつな現象はあく手段として組織内かたさが取りあげられる。それは鑄鉄のもつなじみ性やそれに伴う耐摩、耐焼付性を検討するのに一つのめやすとなるからで、かりにパーライト組織についてもその層間隔によって $MHV 20$ 程度の差がある。また析出物(たとえばセメントライトやステダイト)においてはなおのことである。したがってこれらの点を含め微小かたさ測定の研究を今後どのように進められるか。またどのように進めればよいだろうか。(兼崎昭士)

【回答】 (1) 押込条件に関して、実用材料もふくめて、今までにおこなわれた研究では、種々異なった結果が得られている。それらの研究から、荷重保持時間は 5 秒から 20 秒の間が実際の保持時間と考えられ、また、押込速度は $15 \sim 40 \mu/s$ が適当であると考えられる。本研究の結果からもこの範囲が適当であることがわかる。

そのほか、試料の置き方は実用材料では問題はなく、荷重依存性もまた認められると思う。

(2) 実際に測定した経験がないので、はっきりしたことはわからないが、次の方法を用いると良いと思う。第1に(質問4に関連して)、組織の大きさの $1/5$ (安全を考えて)より小さなくばみをつけて測定すること。第2に、偏光を用いて、結晶学的に類似の「方位」と「組織」のみについて多数の測定値の平均を求めること[文献(3)参照]。

(3) 文献(3)の実験結果と同じように、荷重依存性を示しながら、一つの組織のかたさから他の組織のかたさに遷移して行くように変化するものと考えて。たとえばフェライトの組織の中央にくばみをつけるようにして、微小荷重から荷重を順次増加させてかたさ

を測定すると、付図 1 のようになると思う。

(4) やはり、組織内のかたさをできるだけ精確に測定することだと思う。それには回答 (2) に十分留意することである。しかし場合によっては微小荷重かたさと同時に小または大荷重のビッカースかたさを測定されるのも良いかと思う。

付 図 1

イギリスでレーザの距離計、商品化される

イギリスの Barr & Stroud 社は、世界で初めて商品化されたレーザの距離計を開発した。この距離計は、300 m から 10000 m までの距離を測ることができる装置で、非常に簡潔に作られていて、持ち運びも操作も一人で行えるようになっている。

この距離計の原理は 4 年前にアメリカのメイマン博士が公開した原理を応用し、さらに Barr & Stroud 社の光学的距離計の経験を生かして考えたものである。

装置は、レーザヘッド装置を三脚の上に載せ、別のキャビネットに組立てられた電源装置とケーブルでつなぐという構成になっている。

レーザヘッド装置にはレーザ送信機、レーザ受信機、測距回路、距離表示装置、望遠鏡その他の光学機械などが組み込まれている。ビームの照射は Qswitched ルビーレーザと呼ばれるレーザを使ってせん頭出力 1

MW 以上、集束 0.5 rad のビームを、普通に使うときは毎分 2 回、特別な場合は毎分 6 回の速さで照射し、受信は、反射してきたビームを直径 2 in の開口から受け、狭帯域のフィルタを組合わせたトリアルカリの光電子増倍管を使って検出し、数字が光る距離表示装置で、数字で表示する。

レーザヘッド装置へ電力を供給する電源装置は電源回路、電池、コンデンサバンクからなっていて、電池の充電状態をメータで監視できるようになっている。

この距離計で測れる最大距離は 10000 m であるが、気象の状態やみとおしによってこの最大距離は変る。測定の精度は ± 10 m で、距離の差は 5 m まで判別でき、方角は三脚の目盛から測れるようになっている。(Electronic Engng., 1964, Vol. 36, No. 439, p. 482)

(日本科学技術情報センター提供)

光のバーストによる溶接

耐火性金属のビード溶接を行なうために干渉性の光を使用する機械がアメリカの航空会社に引渡されようとしている。

これはレーザの工業的応用の最も進歩した一例であると考えられる。この 25 万ドルのレーザは「技術研究所」(Technical Research Group)において、Adams, Fairbank 教授らによって研究されていた。これが完全な製造溶接に用いられるのは、まだ 5 年ぐらい後であるが、小さいものならばすでに可能である。彼らが研究した機械は最大出力 1.75 MW、熱源はルビーレーザで全自動システムである。熱源としてのレーザは電子ビームと同様に作用し、そのうえ清浄な乾燥空気は完全に光を通すので大気圧下で操作できるという利点がある。エネルギーは非常に早く作用し、レーザの融解効率率は 100 % に近い。

光のバーストエネルギー強さが高すぎると金属は蒸発してしまう。電子ビームのように熱が連続的に供給さ

れる場合には、この蒸発圧は熱を深く透過させるのに役立つが、レーザの場合は不連続なので金属を熔融状態に保つことはできず、蒸発しない程度で使えるだけである。したがって現段階では、レーザは表面加熱の機能を持つのみである。

溶接にこの表面加熱を使用するには融解のための露出時間と強さを定めねばならない。与えられた金属の厚さと光ビームの直径について、彼らは全エネルギー量が最少になる最適時間があること、またこの時間は材料の上部と底部の温度上昇割合が大きすぎることをないものでなければならないことを見だし、レーザ溶接のときの四つの式を導き出した。

レーザの特徴や材料の熱性質などから考えて、レーザ溶接の未来は輝やかなしいものである。

(New Scientist, 1964, Vol. 21, No. 378, p. 417)

(日本科学技術情報センター提供)