ヴィツカース硬度測定値の分散について

嵯峨卓郎* 宮川大海*

Takuro Saga and Ohmi Miyakawa : On the Dispersion of Vickers Hardness Values.

It is well known that the hardness numbers of metallic materials change considerably under different conditions. In spite of the fact that a quantitative study is very important for the stochastic analysis of the measured hardness values, very few studies on the subject have been reported. Experiments on Vickers hardness in various materials, including

* 東京都立大学工学部

pure iron, carbon steel and brass, were carried out under loads of 1 to 100 kg. The results obtained were as follows:—(1) The populations (Vickers hardness values) show normal distributions. (2) The standard deviation σ (coefficient of variation C) of the populations varies with the applied load P in the following relation; $\sigma \cdot P^{1/4} = \text{constant}$, or $C \cdot P^{1/4} = \text{constant}$. (3) Under a definite load, the values of σ or C for homogenous materials, such as pure iron, eutectoid steel and 7-3 brass, vary little according as the grain size of the materials, but in heterogenous materials, such as carbon steel, they vary considerably, as shown in Fig. 2. (4) The values of C are generally expressed as follows: $C = (2.5 \sim 4)P$, where $P^{-1/4}$ is in kg.

(Received April 6, 1953)

I. 緒 言

硬度測定値は一般にちらばるが、このちらばりについて定量的になされた研究は少いようである。しかしながら、実際の硬度測定において、測定回数の決定、種々の硬度値の差異の有意性の検定、棄却の問題など推計學的考慮は重要であろうと考えられる。本研究は 1~100 kg の荷重におけるヴィツカース硬度について、純鐵、炭素鋼、黄銅など種々の材料を用いて硬度値(母集團)の分布型を検討し、また標準偏差(變異係數)が荷重および材料の成分、組織、硬度に従いかに變化するかを調べた。

II. 硬度測定値への推計學的方法の適用

1. 母集團と標本について

まず硬度測定値に関しては母集團として何を規定するかが問題となろう。硬度の測定は一つの試料を充分等質とみなしうれば、測定面上極めて多數回行うことができ、またそれらの測定面は通常極めて多く数えられるから、これらのすべてを「變形抵抗の難易」という特定の目印をもつ個體の集合と考えることができよう。これらのすべては無限母集團で母平均、母標準偏差(母分散)は定數に收斂すると考えられる。これらの母集團から適當の大きさの無作為標本を抽出するために、適當回数の硬度測定が行われる。

2. 母集團の分布型と標本抽出數(測定回數)の決定

母集團の分布型の想定は標本調査の出発點であり、理論、實驗、直観などをとおして行われる。硬度測定値については正規型が想定されるが、本研究にては實驗によつてこれをたしかめた。母集團の正規性は多くの推計學的方法に對して有利である。大きさ n の任意標本から母平均 m の存在範圍を推定する場合、標本の大きさが 15 程度以上のときは母集團がかなり歪んだ分布型でも適用できるが、それ以下の場合には母集團の正規性が前提となる。

一般に標準偏差 σ なる無限母集團にては標本平均の分散(variance)は次式で與えられる。

$$\sigma_x^2 = \sigma^2/n$$

すなわち標本平均の標準偏差は $\sigma_x = \sigma/\sqrt{n}$ であたえられる。目標精度として標本平均の變異係數 $C.V. (\equiv \sigma_x/m)$ を α 以下にとゞめるためには次式が満足されねばならぬ

$$\sigma^2/n \leq \alpha^2 m^2$$

これによつて標本抽出數(測定回數) n があらかじめ決

定されるが、この外、母集團の標準偏差(變異係數)についての概略の値を知つておくことは有利な場合が多い。

III. 實驗方法および實驗結果

1. 試 料

實驗に用いた試料は Table 1 に示される。試料は硬度 Table 1 Test Specimens Used.

No.	Test Specimen	Vickers Hardness Value	Heat Treatment	Structure (Grain Size)
1	0.04 % C Steel	78	950° 1hr Annealing	149 × 10 ⁻⁴ mm ²
2	4~6 Brass	115	400° 1hr Annealing	—
3	Rockwell hardness standard piece 4~6 brass	138	—	—
4	0.43 % C steel	160	870° 1 hr Annealing	Grain Size of Pearlite 12.8 × 10 ⁻⁴ mm ²
5	0.3 % C steel	150	920° 1 hr Annealing	Grain Size of Pearlite 17.5 × 10 ⁻⁴ mm ²
6	0.3 % C steel	165	850° 15 min Annealing	Grain Size of Pearlite 6.2 × 10 ⁻⁴ mm ²
7	0.3 % C steel	160	800° Water quenching 700° 1 hr. Annealing	Globular Cementite
8	Shore hardness standard piece	193	—	Globular Cementite
9	0.85 % C steel	260	780° 15 min Annealing	—
10	0.85 % C steel	230	920° 1 hr Annealing	—
11	Vickers hardness standard piece (Quenched steel)	770	—	Martensite

標準試片以外は外徑約 30 mm の丸棒を厚さ約 10 mm に輪切りとし、冷却速度は爐中にて毎分約 3° に一定とした。冷却速度を小さくすることは母集團の等質化のために重要である。たとえば 4-6 黄銅において外徑約 45 mm、厚さ約 35 mm のものを 400° に 1 時間焼鈍した後空冷した場合は、爐中徐冷のものに比して 2 倍近くのちらばりを示した。また母集團の正規性も失われる。

2. 實驗方法

1 kg 程度の小荷重で荷重の保持時間の極度に短いときは(殊に硬い材料に對して)硬度値の低下とちらばりの増大が報告されている⁽¹⁾。著者らの實驗によつても 15 秒の

保持時間でさえ、No. 11 のヴィツカース標準試片 ($H_v = 770$) にて約 30 % の硬度値の低下と 2~3 倍の標準偏差の増大をみた。その他の試料にてはこの影響は少く、殊に硬度値の低下はほとんどみられなかつた。30 秒の保持時間では No. 11 にても上記の傾向は半減する。したがつて本研究にては 1 kg 荷重の場合のみ明石製作所製微小硬度計を用い (測定面の上昇速度は毎秒 $20 \sim 30 \mu$)、5~100 kg の荷重には普通のヴィツカース硬度計を用いた。荷重の保持時間は 30 秒一定 (ヴィツカース硬さ試験法規格) とし、測定回数 (標本抽出数) はすべて 100 回である。壓子の頂角は $135^\circ 48'$ (都立工業奨励館検定) である。計測顕微鏡には 3 種の對物鏡を用い、壓痕對角線の實長 200μ 以下、 $200 \sim 500 \mu$ 、 500μ 以上に對してそれぞれ倍率の大、中、小のものを適用した。これらは指示計の 1 目盛に對してそれぞれ 0.425μ 、 1.00μ 、 2.50μ の實長を示す。

$$100E \equiv 100 \times \int_{-\infty}^{\infty} Z dx, Z \equiv (2\pi)^{-1/2} \exp(-x^2/2)$$

Fig. 1 Distributions of Vickers Hardness Values in No. II Test Piece.

Fig. 2 Relation between Coefficient of Variation and Load.

3. 實驗結果

實驗結果を Fig. 1~3 および Table 2 にしめす。硬度値の分布は一例を No. 11 についてのみ示したが、他の試

Fig. 3 Relation between Coefficient of Variation and Load.

Table 2 Coefficient of Variation due to Irregularity of Materials.

No.	Load (kg)						C. P ^{1/4}
	1	5	10	20	30	50	
2	3.32	2.10	1.72	1.48	1.25	1.21	3.2
3	3.50	2.00	1.55	1.50	1.46	1.02	3.1
4	3.16	2.02	1.62	1.40	1.33	1.09	3.1
8	3.20	2.04	1.55	1.53	1.25	1.21	3.2

料についてもこれと同様正規性をたしかめることができた。また標準偏差 (變異係數) は不偏分散推定量より算出したが、この値は圖より求めたものとよく一致し、100 回の測定においては信頼區間は 5 % 程度 (90 % の信頼度) でほとんど問題にならない。硬度値 (母平均) は荷重に對してほとんど一定とみなしうる。

IV. 實驗結果の考察

1. 硬度測定値のちらばりの原因について

硬度測定値のちらばりの原因として考えられるものは、(1) 材料の不均一性 (2) 機械的誤差および測定における個人的誤差の二つに大別できる。(2) において荷重、壓子の頂角、計測顕微鏡の倍率などの要因は硬度値には影響するであろうが、常に同一荷重 (錘)、同一壓子、同一顕微鏡を使用するから硬度値のちらばりには影響しないと考えられよう。したがつて問題となるのは測定における個人的誤差である。すなわち一例をあげれば、 $d(\mu)$ なる對角線を $(d + \Delta d)(\mu)$ とよみちがえるときは下の如く ΔH_v なる誤差をとまらう。

$$\begin{aligned} \Delta H_v &= 2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \frac{P}{(d + \Delta d)^2} - 2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \frac{P}{d^2} \\ &= 2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \frac{P}{d^2} \left\{ \left(\frac{d}{d + \Delta d} \right)^2 - 1 \right\} = -2 \frac{\Delta d}{d} \cdot H_v \end{aligned}$$

材料が理想的に均一であると假定すれば、この誤差にも

(1) 吉澤, 日本機械學會論文集, 13 (1947), No. 45.

とづく硬度測定値の分布は勿論正規型である。いま d の測定誤差を最大 ± 1 目盛とすれば、これは對物鏡の倍率によつてそれぞれ $\pm 0.425 \mu$, $\pm 1 \mu$, $\pm 2.5 \mu$ となる。したがつて標準偏差 σ_2 を最大のひろがりの $1/4$ と假定すれば、

2. 變異係數 (標準偏差) について

試料の顯微鏡組織を Photo. 1~8 にしめす 一般に σ または C は荷重の増加とともに減少する。これは荷重の増加につれて壓痕も大となり、よりそろつた硬度値がえら

Photo. 1 $\times 310 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 5 0.3% C Steel
Impression under 1kg Load

Photo. 2 $\times 310 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 6 0.3% C Steel
Impression under 1kg Load

Photo. 3 $\times 310 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 7 0.3% C Steel
Impression under 1kg Load

Photo. 4 $\times 310 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 2 4-6 Brass
Impression under 1kg Load.

Photo. 5 $\times 310 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 8 Shore Hardness
Standard Piece
Impression under 1kg Load.

Photo. 6 $\times 310 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 11 Vickers Hardness
Standard Piece
Impression under 1kg Load.

Photo. 7 $\times 100 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 9 0.85% C Steel
Impression under 5kg Load

Photo. 8 $\times 100 \left(\times \frac{4}{5}\right)$
No. 10 0.85% C Steel
Impression under 5kg Load.

σ_2 は $(0.425/d)H_v$, $(1/d)H_v$ および $(2.5/d)H_v$ となる (ただし d は μ 単位). (1) と (2) の綜合された實際の硬度測定値にては、その分散 σ^2 は各々の分散 σ_1^2 および σ_2^2 の和であるから、硬度測定値のちらばりは主として材料の不均一性に起因するとみなしう。

れるからであらう。しかしてその減少する割合はおおむね $C \times P^{1/4} = \text{定數}$ 、または $C \times d^{1/2} = \text{定數}$ なる關係にしたごう。したがつて荷重を大とすることは望ましいが、一定限度以上に大としてもそれほど効果なく、同時に壓痕の大きさについての制約も生ずる。Photo. 1~3 は同じ 0.3% 炭素鋼の組織を變えたものであるが、組織の微細化とともにちらばりも減少している。No. 9 および No. 10 は同じ 0.85% 炭素鋼であり、 C の値は大差はない。のみならず、パーライトを球状化せる炭素鋼、焼入鋼など、組織の均質

とみられる試料について、 C の値は硬度の増加とともに若干減少の傾向をもつことを考えれば、純鐵、共析鋼のような材料にては組織による C の變化はほとんどないとみなされる。また 4-6 黄銅のような材料にては組織の精粗による影響は炭素鋼のように大ではないと想像されるが、こ

これらの點についてはなお一層の研究が必要である。以上のことから、硬度の標準試片としてはなるべく微細な組織をえらび、炭素鋼にてはパーライトを球状化していることがうなづける。また總括的に C の値は特に粗大な組織をのぞいて $C=(2.5\sim4)P^{-1/4}$ とみてよい。

V. 結 言

ヴィツカース硬度測定値のちらばりを検討して大約次の結果をえた。

(1) 硬度測定値のちらばりは主として材料の不均一性に

よる。

(2) 1 kg 以上の荷重では硬度測定値は正規分布をなす。

(3) 變異係数は荷重の増加とともに $C \cdot P^{1/4} =$ 定數なる關係にしたがつて減少する。

(4) 炭素鋼のような不均一性の大きい材料では、同一荷重でも結晶粒度によつて C の値は相當大幅に變化するが、その他の材料ではほとんど變らない。

(5) C の値は硬度の増加とともにやゝ減少する。

(6) C の値は試料の等質化が充分なされた場合、特に粗大な組織をのぞいて大約 $C=(2.5\sim4)P^{-1/4}$ とみなされる。