円端面の硬度測定値について*

正会員 安藤 善司** 加藤 容三***

Research on the Hardness Tested on Cylindrical Surfaces

Zenji ANDO, Yozo KATO

Various works have been published with reference to hardness tested on cylindrical surfaces, but the experiments concerning the Brinell and Vickers hardness are very scarce. Authors developed the method for compensating the Brinell and Vickers hardness on cylindrical specimens basing on Ingerson's assumption, and referred these results to experimental ones.

It was found that the values calculated on his assumption coincided with the experimental results of the tests on the Brinell specimens, but not so well on the Vickers specimens. Therefore the next compensating factor K was found experimentally.

Put $K=1/(1+k \cdot d'/D)$,

where d' =diagonal of impression in mm

D =diameter of cylinder in mm

Then the value of K is about from 0.7 to 1.0 and will change corresponding to materials or hardness numbers.

1. 緒言

金属材料の硬さを測定するのに、実際には平面ばかりでなく、円端面の硬さを測定することが、しばしばある。そのため、円端面の硬度測定に関する文献も多い。大部分の実験は、ロックウェル硬度B及びCに関するものであるが、この中で、IngersonがロックウェルBについて、或る仮定のもとに導いた円端面の硬度の平面に対する換算式は実験結果と良く一致することが報告されている¹⁾。Ingersonの仮定は「同一の圧子を用いて、同一の材料に、同一の荷重で押込むとき、荷重の軸に垂直な方向の、圧痕の投影面積の等しい所で、圧子と材料とは平衡を保つ」と言うのであるが、このとき荷重除去後の弾性的“かえり”は無視している。この考えはロックウェルCにも拡張され、換算図表も発表されている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。吉沢氏は同様に、ビッカース硬度について、計算より円端面及び球面について、平面に対する換算係数を、圧子の種々な向きに対して求めている⁶⁾。又 Lysaght もビ

ツカース硬度について、円端面の硬度の換算式を紹介している⁷⁾。但しこれは、Ingersonの仮定からと言うよりビッカース硬度の定義を円端面に拡張し、荷重を円端面の場合の接触面積で割つたものと思われる。即ちこのときは投影面積が等しいと言う代りに、接触面積が等しいと言う仮定を用いたことになる。これ等が全く同一になるのは、圧子が対

図 1

の円錐を使用する
面角 136° の角錐であるから当然である。この事は圧子として頂角 120° の円錐を使用する
ロックウェル硬度Cの場合も同様で、鋼球を使用するロックウェル硬度Bやブリネル硬度では言えないことである。ブリネル硬度の場合には、Lysaghtは試料の半径が押込鋼球の半径の5倍以上ならば、図1において、平面の場合の直径 d の代りに $(a+b)/2$ を使用すれば、その誤差は1%以下になると紹介している⁸⁾。筆者等は前述のIngersonの仮定をブリネル硬度及びビッカース硬度に適用して、実験を行い、更に比較のためロックウェル硬度B及びCについても同様の実験を行って、換算式に検討を加えた。

*昭和28年9月12日、日本機械学会東海支部岐阜地方講演会(第1報)、昭和29年6月4日、日本機械学会、精機学会共催浜松地方講演会(第2報)にて講演したものゝ総合。

、*岐阜大学工学部

2. 換算方法及び換算式

(a) 圧子鋼球の場合 前述の Ingerson が、ロックウェル B について求めた換算方法によれば、図 1 のように圧痕の投影曲線は、楕円に良く似た曲線であるため、これを楕円で近似すれば、仮定より

$$\pi ab = \pi d^2 \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式の関係をブリネル硬度に適用すれば、平面の場合のブリネル硬度 H_B は (2) 式で表わされるから

$$H_B = 2P/\pi D(D - \sqrt{D^2 - a^2}) \dots\dots\dots (2)$$

但し、 P : 押込荷重 kg D : 鋼球の直径 mm

この (2) 式に (1) 式の関係を代入すれば、円端面の平面に対する換算硬度 H_B' は (3) 式のようになる。

$$H_B' = 2P/\pi D(D - \sqrt{L^2 - ab}) \dots\dots\dots (3)$$

(b) 圧子錐体の場合 対面角 136° の四角錐の圧子を使用するビッカース硬度については、圧子の向きが、円端面の軸に対して異なれば、換算式が異なることは吉沢氏により報告されている⁶⁾。筆者等は Lysaght も言うているように⁷⁾、圧子は四角錐であるから、圧痕の対角線が円端面の軸と 45° の傾きを持っているときには、図 2 のように、楕円と直線で囲まれる簡単な投影曲線になるのでこの場合について実験を行った。図 2

図 2

において、平面の硬度数を $[H_V]$ 、円端面の見掛けの硬度数を H_V とすれば

$$[H_V] = P/0.5393 d^2 \dots (4) \text{ここに } P: \text{押込荷重 kg}$$

$$H_V = P/0.5393 d'^2 \dots (5) d, d': \text{対角線の長さ mm}$$

筆者等は簡単のため、投影曲線の楕円部を拋物線で近似し、これに、平面の場合と円端面の場合との圧痕の投影面積が等しいと言う Ingerson の仮定を適用すれば、円端面の平面に対する換算硬度数を H_V' とすれば

$$H_V' = P/(0.593 d'^2 + 0.3146 d'^3/D) \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式は前述の Lysaght⁷⁾の紹介したものと全く同一であつて、押込荷重を円端面の場合の圧痕の接触面積で割つても、同様に得られるものである。(6) 式の形では実用上、不便であるから、吉沢氏⁶⁾の換算係数 K の形で表わすのが便利である。(5) (6) 両式の比較より

$$K = 1/(1 + 0.5834 d'/D) \dots\dots\dots (7)$$

頂角 120° の円錐圧子を使用するロックウェル硬度 C の場合にも、ロックウェル硬度 B と同様に求められる。ただこの場合は、円錐先端の丸味を考慮に入れる必要が

ある⁸⁾。円端面の見掛けの硬度数を R_n 、平面に対する換算硬度数を R_n' 、試料の直径を D mm とすれば

$$R_n' = 115.5 - 500 \left[\left\{ \sqrt{1 + \frac{12}{D} \left(\frac{115.5 - R_n}{500} \right)} - 1 \right\} \cdot \frac{D}{6} \cdot \frac{115.5 - R_n}{500} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

3. 試料

ブリネル硬度の測定に用いた試料は 3 種類の軟鋼、鋳鉄、銅、黄銅で、直径 15mm~35mm の円端面を作り平面の測定値としては、その端面を利用した。銅、黄銅は熱処理を行わずペーパー仕上を行い、他は熱処理前に所定の直径より 2mm 大きく旋削し、熱処理後に研磨仕上を行った。試料の保持には V ブロックを用い、読取顕微鏡により、読みの測定を行った。ロックウェル硬度 B の試料もブリネルと同様で、軟鋼は直径 6~20mm、黄銅は直径 5~11mm の範囲で実験を行った。ロックウェル硬度 C 及びビッカース硬度の試料は、図 3 のように、円端面の一部に平面を作り、熱処理後ペーパー仕上を行った。試料は、表 1、2 に示してある。測定回数は何れも 10~20 回である。

図 3

4. 実験結果

(a) ブリネル硬度 前述の試料を用いて実験を行い、換算式 (3) によつて、計算すれば、平面の硬度数に対する円端面の換算硬度数の誤差の%は、図 4 のようになり

図 4

これより見ると、少数例を除いて、殆んど 1% 以下であり、実用上 (3) 式を使用して差支えないと思われる。

(b) ビッカース硬度 図 5 のように、横軸に d'/D を取り、縦軸に換算係数 K を取ると、(7) 式の換算係数 (図中 $k=0.5834$ と記入) は実験値と、かなり離れている。一般に前述の仮定より求めた換算係数では補正量が足りない。それ故、実験的に (7) と同じ形の換算係数 K_B を求めると、

$$K_E = 1 / (1 + 0.755 d'/D) \dots\dots\dots (9)$$

一般に換算係数を次式で表わし、

$$K = 1 / (1 + k \cdot d'/D) \dots\dots\dots (10)$$

各試料に対して、 k の値を求めると、表 1 の中に示し

図 5

表 1 ビツカース試料

試料番号	材 料	硬 度 数	荷 重 kg	熱 処 理	直径 mm	k
A-30	軟 鋼	114	30	900°C 焼鈍	20 ~ 5	0.703
A-50	〃	114	50	〃	20 ~ 6	0.713
B-50	黄 銅	127	〃	—	11 ~ 5	0.714
C-50	高炭素鋼	173	〃	850°C 焼鈍	20 ~ 6	0.897
D-50	〃	528	〃	850°C 油焼入, 500°C 焼戻	15 ~ 6	1.081
E-50	〃	870	〃	850°C 油焼入	15 ~ 8	0.819
F-50	〃	910	〃	850°C 水焼入	15 ~ 8	0.849

表 2 ロックウェル C 試料

試料番号	材 料	硬 度 数	熱 処 理	直径 mm
I	高炭素鋼	64	850°C 油焼入	15 ~ 6
II	〃	48	同上後 500°C 焼戻	15 ~ 6

た値となる。(9) 式は全試料に対して求めた値である。図 5 の中には k の種々な値に対する曲線が比較のため記入してある。これより見れば K を (10) 式で表わしたとき、 k の値は材料及び硬度によつて違うと思われるが、大体 $k=0.7 \sim 1.0$ の範囲内にある様で、硬度数の高い程、 k の値が大きくなる傾向がある。

(c) ロックウェル硬度 図 6, 7, 8 には、円端面の換算硬度数及び見掛けの硬度数の、平面硬度数に対する誤差の%が示してある。これより見れば、ロックウェル硬

度 B 及び C 共に Ingerson の仮定は成立していると思われる。ただ C の場合、換算式に圧子先端の丸味を考慮に入れないと、補正量が一般に足りないようであるからこの点注意することが大切である。

5. 結 論

以上の結果より考えると、

図 6

(1) Ingerson の仮定は、ロックウェル硬度 B 及び C ブリネル硬度では大体成立つと考えて良いが、ビツカース

硬度については、あまり成立たない。そのため、ブリネル硬度の換算法としては (3) 式を使用すれば、誤差は大体 1% 以内に収まる。ロックウェル硬度 B, C についても前述の仮定よりの換算式で良いが、何れも複雑であるから、実用上は換

図 7

算図表を使用する必要がある。ビツカース硬度については一般に (10) 式

$$K = 1 / (1 + k \cdot d'/D)$$

で表わすと、Ingerson の仮定より、 $k=0.5834$ となるが、実験結果からは、 $k=0.7\sim 1.0$ の範囲内であつて、硬度数の高い程、この値が大きくなる傾向がある。換言すれば、硬度数が高くなる程、Ingerson の仮定のように、圧子が侵入出来ないと言う傾向が大きくなると言うことを意味している。各材料、各硬度についての最適の k の値を使用すれば、理想的であるが、実用上は、我々の実験の範囲内 ($H_V = 114 \sim 910$, $d'/D = 0.01 \sim 0.2$) では $k = 0.755$

を採用すれば、誤差は 2% 以内に治まる。

(2) 前述の換算式では、荷重除去後の“かえり”を考慮に入れなかつたが、何れもダイヤモンドの錐体圧子を使用したとき、ロックウェル C では Ingerson の仮定が比較的实验結果と一致するのに、ビツカースでは、あまり一致しないのは、圧子の形状の違いと言うより、ロックウェルでは荷重を一定にしたときの深さの関係より硬度を求め、ビツカースでは、圧子と試料の接触面積が硬度数に関係するから、この荷重除去後の“かえり”の違

図 8

いによるのではないかと考えている。

(3) 我々の使用した試料は、焼入、焼戻、焼鈍等の熱処理を行つたが、このとき、円錐面と平面との本質的な硬度の違いを推定することは困難であるが、円錐面の見掛けの硬度と平面の硬度との大きな違いに比較すれば十分に小さいと考えられる。(1954, 10月2日受付)

参考文献

- 1) Vincent E. Lysaght : Indentation Hardness Testing, p. 173
- 2) Vincent E. Lysaght : Indentation Hardness Testing, p. 180
- 3) W. L. Fleischman : and R. S. Tenkins : Metal Progress, 1945, p. 275
- 4) G. E. Poole and T. Hunt : Metal Progress, 1947, p. 776—B
- 5) Frank W. Hussey : Proc. ASTM, Vol. 50, 1950, p. 1176
- 6) 吉沢武男 : 日本機械学会誌, 第53巻, 昭和25年 429 頁
- 7) Vincent E. Lysaght : Indentation Hardness Testing, p. 183
- 8) Vincent E. Lysaght : Indentation Hardness Testing, p. 172

貴石類の機械的穿孔法 (第5報)*

繰返衝撃穿孔機の振動頭特性について

正会員 谷 口 紀 男**

1. 緒言

既報(貴石類の機械的穿孔法第4報)の繰返衝撃穿孔機の振動頭の作動機構についての解析及びそれに関する実験に就て報告する。猶その解析結果の一部は別報¹⁾に既に発表したもので茲では省略する。

2. 構造

振動頭の構造は図1に示す如く機械的及び電磁的の二つの系列の振動系よりなるものである。即ち一つはばね

作用をする曲つた鋼片、その端につけた磁気回路用の軟鉄片、及びそれに取付けた衝撃用ハンマー等よりなる機械的な振動系である。又今一つは軟鉄心をもつ電磁石よりなる交流 100 ボルト 50 サイクルを用い電磁的に 100 サイクルの勵振を行う電磁的振動系である。

猶振動頭として商用周波数を用うる勵振系を利用する機構としては例えば渦巻ばねをもつものも考えられるが解析する面からは全く同等に取扱い得る。

この振動頭が実際に作動する場合は衝撃ハンマーがチゼル頭部と衝突しつゝ働くのが常態である。従つてこの振動系は電磁的な勵振を受けるは勿論であるが衝突によ

*昭和 29 年 4 月, 精機学会大会に於て講演

**山梨大学工学部