ブリネル硬度試験における加圧速度及び保圧時間⁽¹⁾

(昭和 13 年 2 月 3 日 第 8 回満洲地方講演會に於て講演)

正 員 橋 本 順 一 郎⁽²⁾

摘 要

ブリネル硬度試験に於て荷重を加へる時間及びこれを保持する時間を実験的に求めたものは二、三見受けられるが、理論的には未だ定められてゐないやうである。これはブリネル硬度試験には種々の影響が入つてくるため正確な結果を期し難いからであらう。そこで著者は荷重を保持する時間は荷重を加へる時間即ち加圧速度と相関連するものであらうとの考へから、一、二の仮定を用ゐて、加圧域及び保圧域における窪みの大いさと時間の関係式を誘導し、又加圧速度の大小に應じて一定の材料に対しても異なる硬度数を與へるものであることを示した。

1. 緒 言

ブリネル硬度試験に依て得られた硬度数は普通 H_B (10/3 000/30) と記す。これは鋼球の直径 10mm、荷重 3 000 kg、保圧時間 30 s におけるブリネル硬度数を示してゐる。このやうに硬度数は鋼球の直径、荷重の大きさ及び保圧時間等に依て変化する。

鋼球の直径及び荷重の大きさの硬度数に及ぶ影響に関しては、従来多くの研究が発表されてゐる。こゝには加圧速度及び保圧時間と硬度数、換言すれば生ずる窪みの直径との間に如何なる関係が存するかを調べてみたのである。この方面の研究として P. Lieber⁽³⁾ は軸受合金に就て保圧時間を実験的に求め、少くともこの種の材料では 3 mm 以上を必要とすることを定めてゐる。又、C. Grand⁽⁴⁾ は鋼では加圧時間を 2 mm 以上、保圧時間を 5 mm 以上と発表してゐるし、G. Guillery⁽⁵⁾ は窪みの直径の時間的影響を軟鋼に就て実験し、その結果を線図に表してゐる。その他 Mailänder⁽⁶⁾ の実験もある。

ブリネル硬度試験で荷重が零から所要の最大値(普通 3 000 kg 及び 500 kg である)に達しても更に或る時間その荷重に保たせるのは荷重と窪みの間に平衡を得させるためである。それ故荷重が或る加圧速度で加へられ所要の最大値に達したとしても、それだけではその時生ずる窪みの大きさはそれに應ずるとが出来なくて、鋼球はの場合平衡の状態に比べて未だ余分の不安定な位置のエネルギーを持つてゐると考へられる。この不安定なエネルギーが一定荷重の下で時間の経過と共に試験片に與へられ、遂に安定な状態に達する。結

局、不安定な窪みが進行して安定な窪みになる迄或る時間を必要とする。この時間が保圧時間になる。

上記のブリネル硬度数の記載の条件の一つとして保圧時間を挙げてあるが、この保圧時間は加圧時間即ち試験片に荷重を加へ始めてから所要の荷重に達する迄の時間の如何に依て値を異にするものと思はれる。

2. 仮 定

ブリネル硬度試験なるものが材料の硬度試験として果して妥當なるや否やは別問題として、ブリネル硬度試験を行う場合、加圧及び保圧時間を如何にとるかといふことを一般的に明示したものは見當らない。實際、ブリネル硬度試験は種々の影響が作用して簡單には考へられぬから、加圧及び保圧時間に就て理論的に正しい結果を導き出すことは難しい。

そこで次に示す一、二の仮定を用ゐて近似的に論を進めてみた。

仮定 1 鋼球は剛体と考へ、生ずる窪みは鋼球と同じ球面形に変形し、縁における盛り上り等はないものとする。即ち第 1 図に於て、

$$\left. \begin{aligned} h &= (1/2)D[1 - \{1 - (d/D)^2\}^{1/2}] \text{ mm} \\ \text{或は、} d &= 2\{h(D-h)\}^{1/2} \text{ mm} \end{aligned} \right\} (1)$$

こゝに h は窪みの深さ mm、 d は窪みの直径 mm、 D は鋼球の直径 mm を示す。

仮定 2 荷重 P kg と窪みの直径 d mm とは次の関係で與へられるとする。

$$P = a(d/D)^n \text{ kg} \quad (2)$$

こゝに a kg 及び n は或る加圧速度に於ては一定の材料に就て定数である。

3. 加 圧 域

荷重が零より所要の最大値に達する範囲を加圧域とする。加圧域に於て、加圧速度の大小に依て硬度数が変化するには (2) 式で a 及び n が加圧速度の函数として表されねばならぬと考へられる。即ち、

$$n = f(v), \quad a = g(v) \text{ kg} \quad (3)$$

第 1 図 d と h の関係 第 2 図 $n = f(v)$

(1) Die Druckgeschwindigkeit und die Belastungsdauer in der Brinellschen Kugeldruckprobe. (2) Zyunitirô HASHIMOTO, Mitglied. The Ryojun College of Engineering. 旅順工科大学. (3) Zeitschrift für Metallkunde, 16, (1924). (4) Internationaler Verband für die Materialprüfung der Technik, VI Kongreß, (1912). (5) (4) に同じ. (6) Kruppsche Monatshefte, 5, Okt., (1924).

ここに v は加圧速度 kg/s を示す。

$n=f(v)$ の形は第 2 図に示すやうな形をとると思はれる。加圧速度の大きいときは窪みが小さく又極おそく荷重を加へる時も硬化の理由に依て小さい。従て或る加圧速度で窪みが最大の値をとる所がある。この時の加圧速度を $V \text{ kg/s}$, n 及び a の値を夫々 n_V , a_V とする。

(3) 式の $n=f(v)$ 及び $a=g(v)$ の形は実験に依て求められる。(3) 式及び (2) 式より、

$$P=g(v) (d/D)^{f(v)} \text{ kg} \dots\dots\dots(2)'$$

となる。今、或る一定の加圧速度を $v \text{ kg/s}$ とすると、次の関係が成り立つ。

$$dP/dt=v$$

ここに t は時間 s である。(2)' 式より、

$$g(v) (d/D)^{f(v)}=vt+C_1$$

C_1 は積分常数である。 $t=0$ で $d=0$ であるから $C_1=0$,

$$\therefore g(v) (d/D)^{f(v)}=vt \text{ kg} \dots\dots\dots(4)$$

(4) 式が加圧域における窪みと時間の関係を示すものである。

如何なる加圧速度に於ても、達する荷重の所要最大値は一定でこれを $P_0 \text{ kg}$ とする。各加圧速度に於て P_0 に達する時間を $t_0 s$ 及び t_0 における窪みの直径を $d_0 \text{ mm}$ とすると

$$t_0=P_0/vs, d_0=D(P_0/g(v))^{1/f(v)} \text{ mm} \dots\dots\dots(5)$$

次に加圧域にて最大の窪みを生ずる加圧速度 V の時荷重が P_0 に達した場合、試験片に與へられたエネルギーを $E_V \text{ kg-mm}$ とすると、

$$E_V=\int_0^{h_V} P \cdot dh$$

となる。ここに $h_V \text{ mm}$ は最大の窪みの深さである。(1) 式及び (2) 式を用いて、

$$E_V=a_V(2/D)^{n_V} \int_0^{h_V} \{h(D-h)\}^{n_V/2} dh$$

上式で h は D に較べてかなり小さいから $(h/D)^2$ 以上を無視すると、

$$E_V=a_V 2^{n_V} D^{-n_V/2} \int_0^{h_V} h^{n_V/2} \{1-(n_V/2) \times h/D\} \cdot dh$$

$$E_V=a_V 2^{n_V} D^{-n_V/2} h^{(n_V+2)/2} \{2/(n_V+2)-n_V h_V/D(n_V+4)\}$$

$$\text{kg-mm} \dots\dots\dots(6)$$

同様に 或る加圧速度で荷重が P_0 に達した時のエネルギーを $E_0 \text{ kg-mm}$ とすると、

$$E_0=\int_0^{h_0} P \cdot dh=g(v) (2/D)^{f(v)} \int_0^{h_0} \{h(D-h)\}^{f(v)/2} dh$$

$$\text{kg-mm} \dots\dots\dots(7)$$

となる。

4. 保 圧 域

荷重が最大値に達した時から窪みが安定な値をとるまでの範囲を保圧域とする。この域に於ては荷重は一定(最大値 P_0 である)で窪みのみが不安定な d_0 から安定な (d_0+dd) へ移

つてゆく (dd は保圧域に於て生ずる最大の窪みである)。

そのため費されるエネルギー $\Delta E \text{ kg-mm}$ は、

$$\Delta E=E_C+E_V-E_0 \text{ kg-mm} \dots\dots\dots(8)$$

で與へられるとする。加圧速度が V の時のエネルギーは、

$$\Delta E=E_C \text{ kg-mm} \dots\dots\dots(8)'$$

となる。 V の加圧速度で荷重を加へ、荷重が P_0 に達した時負荷を止め、そのまゝ長時間 P_0 に保つて得られた窪みの深さを $(h_V+\Delta h_V) \text{ mm}$ とすると E_C は、

$$E_C=P_0 \cdot \Delta h_V \text{ kg-mm} \dots\dots\dots(9)$$

(8) 式で示されるエネルギー ΔE が保圧域に於て Δh を生ずるために費されて無限の時間の後に零となると考へる。

次にエネルギー ΔE が無限の時間の後、安定となるための或る時刻における消費したエネルギーの時間的变化を $\Delta L \text{ kg-mm/s}$ とすると ΔL と時間 $t s$ との関係は次式を満足するとする。

$$\Delta L=\alpha \cdot \Delta E e^{-\beta t} \text{ kg-mm/s} \dots\dots\dots(10)$$

ここに $\alpha 1/s$ 及び $\beta 1/s$ は定数である。

或る時刻 $t s$ における消費したエネルギーを $\Delta E_t \text{ kg-mm}$ とすると、

$$\Delta E_t=\int \Delta L \cdot dt=\int \alpha \cdot \Delta E \cdot e^{-\beta t} dt=-(\alpha/\beta) \cdot \Delta E \cdot e^{-\beta t}+C_2$$

となる。 C_2 は積分常数である。

然るに $t=\infty$ に於て $\Delta E_t=\Delta E$ であるから $C_2=\Delta E$ となる。

$$\therefore \Delta E_t=\Delta E(1-\alpha/\beta e^{-\beta t}) \text{ kg-mm} \dots\dots\dots(11)$$

となる。

保圧域に於ては、荷重は常に P_0 であるから (11) 式で與へられるエネルギーを費して生ずる窪みは或る時刻に於て、

$$P_0 \int dh'=\Delta E(1-\alpha/\beta e^{-\beta t})$$

ここに $h' \text{ mm}$ は h_0 を零として測つた窪みの深さである。

$$P_0 h'+C_3=\Delta E(1-\alpha/\beta e^{-\beta t})$$

然るに $t=0$ で $h'=0$ であるから $C_3=0$ となる。 C_3 は積分常数である。

$$\therefore h'=\Delta E/P_0(1-\alpha/\beta e^{-\beta t}) \text{ mm} \dots\dots\dots(12)$$

もし $t=\infty$ とすると、

$$h'=\Delta h=\Delta E/P_0 \text{ mm} \dots\dots\dots(12)'$$

となる。(12) 式から、

$$dh'/dt=\alpha \Delta E/P_0 e^{-\beta t} \text{ mm/s} \dots\dots\dots(13)$$

今、保圧時間を無限とすることは實際上不適當であるから、或る有限の時間に於て安定すると考へ、その安定度を dh'/dt で表せば各加圧速度の場合この安定度を一定とし、これを ε とする。 ε は殆ど零に近い値である。それ故、

$$\varepsilon=\alpha \Delta E/P_0 e^{-\beta t}, \therefore t=(1/\beta) \log_e(\alpha \Delta E \varepsilon/P_0) s \dots\dots\dots(14)$$

然るに時刻 $t=0$ から $t=\infty$ まで消費したエネルギーは ΔE でなければならぬから、

$$\int_0^\infty \alpha \Delta E e^{-\beta t} dt=\Delta E \text{ kg-mm} \dots\dots\dots(11)'$$

となる。故に、

$$\alpha=1 \text{ 1/s}, \beta=1 \text{ 1/s} \quad \dots\dots\dots(15)$$

従て、この場合 (12) 式及び (14) 式は夫々、

$$h'=(\Delta E/P_0)(1-e^{-t}) \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$t=1 \times \log e(\Delta E/\varepsilon P_0) \text{ s} \quad \dots\dots\dots(17)$$

結局、(16) 式が保圧域における 窪みと時間の関係を與へ、
(17) 式は ΔE が加圧速度の函数であるから、
各加圧速度における保圧時間を示す。

次に、荷重と窪みの間に安定が成立した時に生ずる窪み $(h_0 + \Delta h)$ mm が加圧速度の如何に関らず常に一定の値 H mm をとるか、或は $(h_0 + \Delta h)$ が加圧速度に依て異なる値を有するかどうかを吟味してみる。

もし常に一定の値 H を持つと考へると次のやうになる。

(8) 式から、

$$\left. \begin{aligned} \Delta E &= E_C + E_V - E_0 = P_0 \Delta h \text{ mm}, \\ h_0 + \Delta h &= H \text{ mm} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

(18) 式から、

$$P_0 h_0 - E_0 = P_0 H - (E_C + E_V) = K' \text{ 定数} \quad \dots\dots\dots(19)$$

(19) 式は第 3 図に於て、

$$P_0 01 = P_0 02 = P_0 03 = \dots\dots\dots$$

を満足することを示してゐる。これは普通の材料に就ては考へられぬことである
即ち保圧域の最後に生ずる窪み $(h_0 + \Delta h)$ は加圧速度に依て値を異にすることが分

る。夫れ故、荷重の大きさ、鋼球の大きさの変化がブリネル硬度数に変化を與へるやうに、加圧速度の大小に依ても異なるブリネル硬度数を與へるものであることが分る。

もし一定の材料に対して同じ硬度数を與へるやうにしたい場合は加圧速度 l' の時の窪み $(h_V + \Delta h_V)$ を標準にして、加圧速度と $(h_0 + \Delta h)$ の関係は既知であるから任意の加圧速度

の時は標準の値に補正出来る。補正の量を δ mm とすると、

$$\delta = (h_V + \Delta h_V) - (h_0 + \Delta h) \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(20)$$

で與へられる。(1), (5), (8) 式及び (12)' 式を用ゐ、

$$\begin{aligned} \delta &= (h_V + \Delta h_V) - [(1/2D)\{1 - (1 - (P_0/g(v))^{2/f(v)})^{1/2}\} \\ &\quad + (E_C + E_V - E_0)/P_0] = K_1 + F(v) \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(21) \end{aligned}$$

ここに K_1 は加圧速度に無関係の定数で、 K_1 及び $F(v)$ は次のやうになる。

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= h_V + \Delta h_V - \frac{1}{2}D - (E_C + E_V)/P_0 \\ F(v) &= \frac{1}{2}D\{1 - (P_0/g(v))^{2/f(v)}\}^{1/2} + E_0/P_0 \end{aligned} \right\} \quad (21)'$$

(21) 式で任意の加圧速度で実験を行つた時の補正の値が分る。(4) 式及び (16) 式から加圧域及び保圧域の窪みと時間の関係を描くと第 4 図のやうになる。

第 3 図 $P-h$ 線図

第 4 図 窪み時間線図

5. 結 び

- 1) ブリネル硬度試験法 自身が種々の影響を受けて結果の正確を期し難い上に、上記の諸関係式は一、二の仮定を入れて求められたものであるから、実際の結果とは幾分異なることは免れない。併し (4) 式と (16) 式は近似的に加圧域及び保圧域における窪みと時間の関係を示してゐる。
- 2) ブリネル硬度数は加圧速度に依て異なる値を與へる。

- 3) (5) 式及び (17) 式が加圧時間及び保圧時間を與へる。実在の材料に就て (2) 式及び (9) 式の値を実験的に決定すれば、その材料に対する具体的な保圧時間を求め得る。

終りに御助言を賜つた中川先生に感謝す。

隅角部壁型片内の温度分布⁽¹⁾

(昭和 12 年 11 月 24 日 第 318 回講演會に於て講演)

正 員 田 村 民 平⁽²⁾

本論文は著者の希望により 機械學會誌 第 41 卷第 249 号 昭和 13 年 1 月号
9 頁に掲載せる研究速報を以て本文に代へる。

(1) Temperature Distribution in the Model Pieces of Wall Corner.

(2) Minpei TAMURA, Member. The Kiryu Technical College. 桐生高等工業学校。