炭素鋼の結晶粒度とショア硬度値の分散について

嵯峨卓郎* 宮川大海*

Takuro Saga and Ohmi Miyakawa : On the Dispersion of Shore Hardness Values and the Grain Size of Carbon Steels. In the heterogeneous materials such as carbon steel the grain size of the materials had an influence upon the dispersion of hardness values. Especially, in Vickers hardness values which were obtained by small load tests, the distributions of hardness values revealed particular types according to the grain sizes and loads. In this paper, we studied the problem of Shore hardness values for various carbon steels and discussed its comparison with the results of Vickers hardness tests. The relation between the roughness of the surface to be tested and the dispersion of Shore hardness values has been studied by many investigators, but little research has been made in the metallographic field. The results obtained were as follows: (1) The distributions of Shore hardness values were normal. (2) In general, the dispersion of Shore hardness values were greater in the materials having coarse grains than in fine grained materials. But in homogeneous materials such as pure iron and eutectoid steel, it was noted that no detectable differences existed between the dispersions of hardness values obtained with different grain sizes. (3) The standard deviations of Shore hardness values multiplied with the increase of the hardness values, but in pure iron and eutectoid steel the deviations were less. (4) The coefficients of variation of Shore hardness values were nearly constant regardless of the hardness values.

(Received August 17, 1953)

I. 緒 言

著者らは先にヴィッカース硬度値の分散におよぼす荷重および結晶粒度の影響を主として炭素鋼について検討した結果、同一荷重にては純鐵、共析鋼、7-3 黃銅のような均質な材料を除いては結晶粒度の粗大なもののほど分散は大きく、また同一試料にては荷重の増加とともにヴィッカース硬度値の分散は減少するがその割合は漸次減少することを見出した⁽¹⁾。また微小荷重によるヴィッカース硬度試験にては結晶粒度と荷重との組合せによつて分布型さえ種々な特異性をしめすに到る。

本論文は結晶粒度の影響をショア硬度値について検討したものである。従来、ショア硬度値の分散について試験面のあらさの影響を扱った研究は若干みられるが、金屬組織學的考慮はほとんどない。0.04, 0.2, 0.4, 0.65, 1.0, 1.35 % C 炭素鋼にて結晶粒度を變えた場合、一般に粗大なものは微細なものに比して分散は大きいが、純鐵、共析鋼にては兩者の差はほとんどなくその値も小さい。これらの分散の差を推計學的に檢定し、あわせてヴィッカース硬度試験の結果と比較考察した。また硬度値の分布型および變異係數についても論及した。

II. 實 驗 方 法

1. 試 験 機

使用したショア硬度計は D 型 (指示型) で A, B 2 種である。B はすでに相當使用されているが A はあまり使用されていない。落下錘の重量は A, B それぞれ 36.6 g, 36.7 g で先端の状態を Photo. 1 にしめす。寫眞は實驗終

(a) A-tester (b) B-tester
Photo. 1 Head of hammer of Shore hardness tester.

了後のものであるが A に比して B の磨耗がめだつ。

ヴィッカース硬度計は普通の大型のもので壓子の頂角は $135^{\circ} 48'$ である。1 kg の荷重における測定にはカムの回轉速度をなるべくおそくして荷重が衝撃的に加ふことをさせた。カムの回轉時間は 1 kg で約 6 分 30 秒、5 kg 以上では約 2 分で、すべて 30 秒の保持の後荷重を除去する不完全操作を行つた。

2. 試 料

* 東京都立大學工學部機械工學科

(1) 嵯峨, 宮川, 本誌, 17(1953), 427.

試料は Table 1 にしめされる。Photo. 2 は顕微鏡組

Table 1 Specimens.

No.	Carbon content (%)	Hardness Value		Annealing (furnace cooling)	Structure (grain size) 10^{-4}mm^2
		Shore	Vickers		
1	0.04	17.5	118	1000° 1hr	169
1'	"	17.9	111	920° 15 min	104
2	0.2	20.0	126	950° 1 hr	23.6 (pearlite grain size)
2'	"	20.6	128	860° 15 min	4.6 (")
2''	"	21.9	—	690~730°6hr	Globular cementite
3	0.4	24.8	158	950° 1 hr	31.5 (pearlite grain size)
3'	"	25.3	153	850° 15 min	9.3 (")
3''	"	24.9	—	690~730°6hr	Globular cementite
4	0.65	35.1	228	950° 1 hr	—
4'	"	34.8	225	840° 15 min	—
4''	"	30.6	—	690~730°6hr	Globular cementite
5	1.0	36.8	264	1000° 1 hr	—
5'	"	34.7	238	900° 15 min	—
6	1.35	37.8	268	1050° 1 hr	98.4
6'	"	33.0	235	900° 15 min	—

織である。結晶粒度の變化のためには焼鈍温度と時間を變えたが亜共析鋼にては硬度値の差はほとんどない。結晶粒度は測定困難なものも多い。またセメンタイトの球狀化處理は鍛造後 690~730° に約 6 時間行つたが、やゝ不完全である。以上の外、後述のようなショア硬度標準試片も用いた。標準試片の内 A, B は A 硬度計, C, D は B 硬度計備付のものである。組織は硬質試片は焼入後低温焼戻を、軟質試片は球狀化處理が施してある。

試料は丸鋼より輪切りにし大いさは直径約 40 mm, 厚さ約 12 mm で内径約 50 mm の横型電気爐を用いた。試料は爐の内径と同心になるように垂直にたて、爐の中央部に挿入した。爐の中央部にて爐の内壁と中心部との温度差は約 2° である。冷却(爐中)速度はすべて 4°/min である。硬度の測定には外周はさけ直径約 30 mm の中心部を用いた。焼鈍後サーフェス・グラインダーにて両面を平行にし、エメリー紙、バフ仕上を行つたが、仕上行程はすべて同一條件になるよう、また表面加工層はなるべく少くなるように注意した。

No. 1~No. 4' $\times 225 \times \frac{7}{9}$ No. 5~No. 6' $\times 300 \times \frac{7}{9}$

Photo. 2 Microstructures of specimen.

III. 実験結果とその考察

1. ショア硬度値の分布型

Fig. 1 は Shore 硬度値の度数分布が正規分布をなす

Fig. 1 Distributions of Shore hardness values.

Fig. 2 Standard deviations and coefficients of variation of Shore hardness values.

かどうかを確率紙を用いて調べたものであるが、いずれも極めてよい正規性をしめす。測定回数はすべて 100 回である。

2. 結晶粒度の大小と Shore 硬度値の分散

実験結果を Fig. 2 にしめす。結晶粒度の粗大なものは微細なものに比して分散が大きいという一般的傾向がわか

る。

しかしながら、純鐵および共析鋼ではこれらの差はほとんどなく分散の値も小さい。なお以上のことを F 分布表より推計學的に検定すると次のようである。No. 2 と No. 2', No. 3 と No. 3', No. 4 と No. 4' について variance の比すなわち F_0 を求めると、A 硬度計では 1.77, 1.42, 1.40 となり、B 硬度計では 1.49, 1.98, 1.36 となる。また F 分布表より

$$F_{100}^{100}(0.01) = 1.59 \quad F_{100}^{100}(0.05) = 1.39$$

であるから B 硬度計による 0.65 % C 炭素鋼を除いて 5 % 以下の危険率で結晶粒度の差異にもとづく分散の差の有意であることがわかる。B 硬度計による 0.65 % C 炭素鋼にても、おそらく 10 % 以下の危険率で有意性がみとめられると考えられる。純鐵、共析鋼にては F_0 は 1 に近く結晶粒度の差にもとづく分散の差はみとめ難い。過共析鋼では兩者において硬度値の差異が相當あるが、變異係数によつて比較するならば以上のことがいえる。セメントの球狀化處理を行つたものは微細な標準組織のものに比して分散はやゝ減少する程度であるが、これは Shore 硬度のように壓痕の大きい測定法では當然であろう。すなわち分散はある限度をこえて小にはならない。また結晶粒度の粗大化につれて分散は大となり極端の場合は微小荷重のヴィッカース硬度におけるように、硬度値はフェライトとパーライトの硬度値の間にちらばり、その分布型も正規型より外れるであろう。また標準偏差は Shore 硬度値の増加とともに増加の傾向にあるが、變異係数は分散が最小であるような組織同志と比較するとき、A 硬度計にて約 3 %, B 硬度計にて約 2 % である。B 硬度計による硬度値が A 硬度計によるものに比してやゝ低下しているのは落下錘の先端の磨耗によると考えられる。標準試片を用いて B 硬度計を検定すると硬度は軟質試片にてはやゝ低下する程度であるが、硬質試片にては相當程度の低下をみる。かゝる場合はダイヤモンドの欠刻かダイヤモンド取付部の弛みが指摘されている。また兩硬度計にて壓痕の直径は後述のように差がある。落下錘の重量および落下高さは等しいから、この差異は先端部の磨耗によると考えられる。兩硬度計における分散の差も壓痕の大きさの差が有力な原因であろう。

從來、Shore 硬度値の分散については試験面の粗さの影響は著目されている⁽²⁾⁽³⁾。それらによるとバフ仕上程度の最も良好な仕上面にては、ばらつき（自乗平均誤差）は高硬度ほど大となり、また仕上程度が不良になるにつれて、ばらつきは大となるがその傾向は硬いものほど顯著で $H_s = 20$ 程度以下ではあまり變らぬことが知られる。しかしながら、以上の考察により仕上程度のみならず結晶粒度の大小や組織それ自體の均質性が大いに影響することがしられる。分散は同一組成でも結晶粒度とともに連續的に變化し最も分散の小さいのは標準組織でなく球狀化處理を行

(2) 吉澤, 日本機械學會誌, 54 (1951), 392.

(3) 佐藤, 精密機械特集號, (1948).

つた組織である。従つて硬度値の變化にともなう分散の變化を云々する時は、最も分散の小さい組織同志と比較するのが妥當であろう。以上述べた結晶粒度の影響は炭素鋼がフェライトとパーライトまたはパーライトとセメンタイトという硬度値の相當異なる 2 相より成ることの當然の結果で、材料の内部應力や冷却速度の不均一にもとづく硬度値からは関係ない。試料はすべて變態點以上に焼鈍し冷却速度は極めて緩かであるから。

3. 標準試片の分散

Table 2 は標準試片についてのショア硬度測定結果である。

Table 2 a Standard deviations and coefficients of variation of Shore hardness values on standard blocks by A-tester.

Mark	Shore hardness value	Variance	Standard deviation	Coefficient of variation (%)	Range
A	92.8	7.4901	2.74	2.95	13.4
B	32.8	0.8316	0.91	2.78	3.3
C	87.9	8.6244	2.93	3.34	14.8
D	29.1	1.0082	1.01	3.40	4.6

Table 2 b By B-tester.

Mark	Shore hardness value	Variance	Standard deviation	Coefficient of variation (%)	Range
A	84.0	0.9889	0.99	1.18	4.5
B	31.2	0.2473	0.50	1.59	2.8
C	80.4	1.1151	1.06	1.24	6.7
D	26.5	0.3290	0.57	2.16	3.0

4. ヴィッカース硬度値の分散

Fig. 3 はショア硬度試験に用いたと同様の試料につ

Fig. 3 Standard deviations and coefficients of variation of Vickers hardness values.

いて 10 kg 荷重のヴィッカース硬度値の分散を検討したものである。測定回数は 30 回である。F 分布表によると

$$F_{29}^{20}(0.01)=2.41 \quad F_{29}^{20}(0.05)=1.85$$

であるので、亜共析鋼にては 0.65 % C 炭素鋼を除いて 5 % 以下の危険率で結晶粒度の差異にもとづく分散の差をみとめる。0.65 % C 炭素鋼にては 30 回の測定回数では差はみとめられない。しかしながら共析鋼に近づくにつれ

てフェライトは粒界に網目状に分布し結晶粒度の差の影響は漸次減少することはうなづける。

Fig. 4 は 1~50 kg の荷重におけるヴィッカース硬度

Fig. 4 Standard deviations and coefficients of variation of Vickers hardness values for No. 3 and No. 3' specimen.

試験を炭素鋼 0.4 % C について行つた結果である。荷重の増加につれて分散が減少することは壓痕下に存在する結晶粒数の増加につれて分散が減少することを意味し、硬度値なるものが壓痕下に存在する材料のある種の性質の平均的な値によって定まる故に、動的と静的との差はあるが、このヴィッカース硬度試験の結果は前述のショア硬度値の分散と結晶粒度の関係をうらづけることができよう。

5. 硬度計の機械的誤差にもとづく分散

ショア硬度値の分散にあづかる因子は大別して次のようである。すなわち

(a) 材料の不均一性によるもの、(b) 硬度計の機械的誤差によるもの、(c) 試験面のあらさによるもの、(d) 目盛の讀取誤差によるもの。

この内 (c) はバフ仕上程度の良い仕上面を対象とす

Fig. 5 Relation between dia. of impression and Shore hardness value.

ら推論される。機械的誤差にもとづく分散はショア硬度計にては評価し難い。

Fig. 5 においてショア硬度値と壓痕の直徑とは $H_s = 40$ 以下では大體直線關係をなす。もし材料が理想的に均質であれば壓痕の直徑は常に一定 (d_m) である。しかし硬度計が機械的誤差皆無であれば、この理想的材料の硬度値は常に一定 (H_{sn}) である。しかし機械的誤差のために理想的材料に對しても、硬度値は $H'_s \sim H_s$ なる range をもつ。さて實際には材料も不均質であるから壓痕の直徑も一定でなく $d_1 \sim d_2$ となり、その結果硬度値は $H_{s1} \sim H_{s2}$ をしめす。したがつて壓痕の直徑が正確に測定されれば上の考え方により機械的誤差にもとづく分散を評價できよう

IV. 總 括

以上を要約すれば、

(1) ショア硬度値の分布型は極めてよい正規性をしめ

す。

(2) 炭素鋼のような不均質な材料では純鐵、共析鋼をのぞいて結晶粒度の大なるものは微細なものに比して分散は大きい。純鐵、共析鋼にては兩者の差はほとんどなく分散も小さい。この影響は炭素鋼が相當に硬度値の異なる二相より成ることの當然の結果で、材料の内部應力や冷却速度の不均一による硬度むらとは本質的に異なる。

(3) ショア硬度値の標準偏差は硬度値の増加とともに増加するが、その變異係數はほぼ一定であり、これは測定回數の決定の目安となる。

終りに臨み材料の件で種々便宜を頂いた東都製鋼品川製作所長德島靜雄氏および石川島重工業技術研究所雜賀喜規氏に深甚なる謝意を表する。