微小硬さに及ぼす引張負荷応力の影響*

香 川 勝 一** 富 家 知 道**

Influence of Applied Tensile Stress on Microhardness

by

Masakazu KAGAWA and Tomomichi TOMIIE

(Faculty of Engineering, Tokai University, Hiratsuka)

In order to investigate the influence of applied tensile stress within an elastic limit on the microhardness of an annealed structural rolled steel, hardness tests were made by changing two parameters, hardness test load and final polish. The results obtained were analyzed by means of the analysis of variance.

The main results obtained were as follows:

(1) Without applied tensile stress, the hardness measurement were possible for the conditions of 500 gf・#120, 1 000 gf・#120, 500 gf・#800 and 1 000 gf・#800. The dispersion of hardness number was minimum for the measuring condition of 1 000 gf・#800, and the hardness number varied depending upon the hardness test load and the final polish.

(2) The hardness number was influenced by the tensile stress for the measuring conditions of 500 gf・#120, 1 000 gf・#120, 500 gf・#800 and 1 000 gf・#800.

(3) A linear relationship existed between the applied tensile stress and the hardness number for the above conditions. The regression coefficients were equal to each other, but the confidence interval decreased with increasing hardness test load and higher grade of final polish.

(4) The measuring condition of 1 000 gf・#800 was best fitted for the case of applied tensile stress because the confidence interval became minimum among all of them.

(Received July 9, 1981)

キー・ワード：硬さ，負荷応力，統計的方法

1 緒 言

現在まで約50年にわたって，負荷応力あるいは残留応力を硬さ試験によって求めようといった試みがなされてきた。KoKubo¹⁾，Vitovec²⁾，平・吉岡³⁾，Oppel⁴⁾等は，ビッカース硬さ試験機あるいは微小硬さ試験機を用い，アームコ鉄，炭素鋼，銅，真ちゅう，アルミニウム等の板材の試験片に，曲げによる引張と圧縮応力を生じさせた場合あるいは残留応力を生じさせた場合についての硬さ数の変化を求めた。また，Sines・Carlson⁵⁾，Blain⁶⁾等は，ロックウェル硬さ試験機を用いることにより，同様の研究を行った。近年では，Underwood⁷⁾，吉野⁸⁾等の研究に見られるように，円すい圧子，四角すい圧子を用い，あらかじめ圧こんを試験表面につけておき，負荷応力あるいは残留応力による圧こんの変形を光学的方法を用いて推定しようとする試みがなされている。これらの研究の結果より，引

張の負荷応力あるいは残留応力は，硬さ数を減少させ，圧縮の場合は，増加させることがわかってきた。

上述した研究においては，ほとんどが曲げによって応力を生じさせる方法を取っている。この方法によった場合には，試料内に応力こう配が生じ，設定した応力での硬さ数が得られないという問題が生じる。また，統計的手法を用いて実験，処理された研究は，ほとんど見あたらない。

そこで，本実験では，試料に単軸引張応力を加え^{9)~12)}硬さ試験荷重および最終研磨を変数とし，統計的手法を用いて実験，処理した場合の弾性域内での引張負荷応力が微小硬さに及ぼす影響について研究した。

2 実験方法

試料は，一般構造用圧延鋼材第1種 SS34 (JIS 3103-1976) の板厚 3.2 mm の板材を用いた。その化学成分を Table I に示す。試験片形状については，JIS Z 2201-1980 の 13 号試験片 13A に準拠したものを使用した。また，試料の機械的性質は，引張試験の

* 原稿受理 昭和56年7月9日

** 正 会 員 東海大学工学部 平塚市北金目

Table I. Chemical composition.

C	Mn	P	S
—	—	0.023	0.021

Fig. 1. Specimen.

Table II. Mechanical properties.

Yield strength (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)
23.8	36.7	28.6

結果, Table II のように求められた. 試験片の仕上げ条件は, エメリーペーパー #100 で研摩を行い, #120 (2.8 S) で最終研摩をしたものと, #100, #120, #150, #180, #320, #500, #600 と順次研摩を行い, #800 (0.27 S) で最終研摩をしたものの2種類とした. なお, 最終研摩の条こん方向は, 引張方向に対し直角とした. また, 試験片は, 600℃で1時間保持した後, 炉中冷却の応力除去焼なましを施した.

実験装置は, 試験片に横方向の単軸引張応力を加えるために, 容量 5 ton の横軸引張試験機を開発して用いた. また, 引張応力値の測定には, 荷重変換器, 動ひずみ計, X-Yレコーダを用いた. 微小硬さ試験機としては, 明石製のマイクロビッカース硬さ試験機を用い, アンビルは, スポットアンビルを用いた.

Fig. 2. Horizontal tension tester with micro-Vickers hardness tester.

試験条件については, 引張応力がない場合は, 硬さ試験荷重を 100gf, 500gf, 1000gf の3段階とし, 試験片の最終研摩は, #120 と #800 の2種類とした. 試験片枚数は, 各条件に対し3枚とし, 測定点は, 試験片1枚当たり9点とした. 引張応力を加えた場合

Table III. Measuring condition for unloading.

Applied load(gf)	Final Emery paper	Measuring points per one condition	Test pieces	Measuring points per one specimen
100	#120	27	3	B ₁ C ₁ , B ₁ C ₂ , B ₁ C ₃
	#800	27	3	
500	#120	27	3	B ₂ C ₁ , B ₂ C ₂ , B ₂ C ₃
	#800	27	3	
1000	#120	27	3	B ₃ C ₁ , B ₃ C ₂ , B ₃ C ₃
	#800	27	3

Table IV. Measuring condition for loading.

Applied load(gf)	Final Emery paper	Measuring points per one condition	Test pieces	Measuring points per one specimen
500	#120	9	3	0 kgf/mm ² D ₁ r ₁ , D ₁ r ₂ , D ₁ r ₃
	#800	9	3	5 kgf/mm ² D ₂ r ₁ , D ₂ r ₂ , D ₂ r ₃
1000	#120	9	3	10 kgf/mm ² D ₃ r ₁ , D ₃ r ₂ , D ₃ r ₃
	#800	9	3	20 kgf/mm ² D ₄ r ₁ , D ₄ r ₂ , D ₄ r ₃

は, 硬さ試験荷重を 500gf, 1000gf とし, 試験片の最終研摩は, 引張応力がない場合と同様とした. また, 試験片に加える応力は, Table II に示すように降伏点の平均が 23.8 kgf/mm² であったので 0, 5, 10, 20 kgf/mm² の4段階を用いた. 試験片枚数については, 各条件に対し3枚とし, 測定点は, 試験片1枚当たり各応力に対し3点とした.

引張応力がない場合と加えた場合の共通した硬さ試験条件として, 圧子は, ダイヤモンド四角すい圧子を用い, 圧こんの測定位置は, 圧こん間の距離および圧こんの位置から端面までの距離を, 圧こんの対角線長さの4倍以上とした. また, 圧こん軸の1軸を引張方向に一致させた. 硬さ試験における荷重保持時間は, 30 sec とし, 荷重負荷速度は, 0.03 mm/sec とした.

3 実験計画

3・1 引張応力がない場合

弾性域内での引張応力が硬さ数に及ぼす影響を

Table V. Hardness number.

B _j	A ₁			A ₂			A ₃		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃
B ₁	X ₁₁₁	X ₁₁₂	X ₁₁₃	X ₂₁₁	X ₂₁₂	X ₂₁₃	X ₃₁₁	X ₃₁₂	X ₃₁₃
B ₂	X ₁₂₁	X ₁₂₂	X ₁₂₃	X ₂₂₁	X ₂₂₂	X ₂₂₃	X ₃₂₁	X ₃₂₂	X ₃₂₃
B ₃	X ₁₃₁	X ₁₃₂	X ₁₃₃	X ₂₃₁	X ₂₃₂	X ₂₃₃	X ₃₃₁	X ₃₃₂	X ₃₃₃

Table VI. Analysis of variance table.

Source of variation $S, V,$	Sum of square: S	Degrees of freedom ϕ	Mean square V	Mean square ratio. F_0
A	S_A	$\phi_A = a - 1$	$V_A = S_A / \phi_A$	V_A / V_e
B	S_B	$\phi_B = b - 1$	$V_B = S_B / \phi_B$	V_B / V_e
C	S_C	$\phi_C = c - 1$	$V_C = S_C / \phi_C$	V_C / V_e
$A \times B$	$S_{A \times B}$	$\phi_{A \times B} = (a - 1)(b - 1)$	$V_{A \times B} = S_{A \times B} / \phi_{A \times B}$	$V_{A \times B} / V_e$
$B \times C$	$S_{B \times C}$	$\phi_{B \times C} = (b - 1)(c - 1)$	$V_{B \times C} = S_{B \times C} / \phi_{B \times C}$	$V_{B \times C} / V_e$
$C \times A$	$S_{C \times A}$	$\phi_{C \times A} = (c - 1)(a - 1)$	$V_{C \times A} = S_{C \times A} / \phi_{C \times A}$	$V_{C \times A} / V_e$
e	S_e	$\phi_e = (a - 1)(b - 1)(c - 1)$	$V_e = S_e / \phi_e$	—
T	S_T	$\phi_T = abc - 1$	—	—

Table VIII. Analysis of variance table.

Source of variation $S, V,$	Sum of square S	Degrees of freedom. ϕ	Mean square V	Mean square ratio F_0
A	S_A	$\phi_A = a - 1$	$V_A = S_A / \phi_A$	V_A / V_e
D	S_D	$\phi_D = d - 1$	$V_D = S_D / \phi_D$	V_D / V_e
$A \times D$	$S_{A \times D}$	$\phi_{A \times D} = (a - 1)(d - 1)$	$V_{A \times D} = S_{A \times D} / \phi_{A \times D}$	$V_{A \times D} / V_e$
e	S_e	$\phi_e = ad(r - 1)$	$V_e = S_e / \phi_e$	—
T	S_T	$\phi_T = adr - 1$	—	—

調べるに先立ち、引張負荷応力のない場合において、試験条件を変化させた場合、得られる硬さ数の平均値あるいはばらつきがどのような影響を受けるのかを見るために、 A 、 B 、 C の各因子を、 A 試験片、 B 縦方向の測定位置、 C 横方向の測定位置として割りつけた。ここで、各因子の各水準において得られた硬さ数 x_{ijk} が、正規分布に従う統計量であると考え、各因子に対する主効果 A 、 B 、 C と交互作用効果 $A \times B$ 、 $B \times C$ 、 $C \times A$ についての分散分析表は、Table VI に示すごとくなる。なお、表中の e は、実験の場における誤差であり、 T は合計である。また、 S は平方和、 ϕ は自由度、 a 、 b 、 c は各因子 A 、 B 、 C の水準数、 V は下偏分散、 F_0 は不偏分散比である。

3・2 引張負荷応力を加えた場合

弾性域内での引張負荷応力が硬さ数に及ぼす影響を見るために、 A 、 D の因子を、 A 試験片、 D 引張負荷応力として割りつけた。ここでも3・1節と同様に考え、得られた硬さ数 x_{imn} についての分散分析表を求

めると、Table VIII に示すごとくなる。ここに、表中の D は、引張負荷応力の主効果を、自由度 ϕ の欄の d は、因子 D の水準数を、 r は、繰返し数を表す。なお、他の文字については、Table VI と同様である。

また、引張負荷応力のない場合と加えた場合の実験順序については、いずれも乱数表を用いてランダム化を実施した。

4 実験結果および考察

4・1 引張負荷応力のない場合

Table IX. Hardness number (100 gf・#120).

	A_1			A_2			A_3		
	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3
B_1	140	137	139	134	123	96 7	155	138	172
B_2	158	164	139	148	175	132	159	148	136
B_3	154	167	186	120	151	138	151	159	147

Table X. Analysis of variance table (100 gf・#120).

$S, V,$	S	ϕ	V	F_0
A	1840	2	920	6.22
B	1290	2	645	4.36
C	325	2	163	1.10
$A \times B$	1890	4	473	3.20
$B \times C$	1520	4	380	2.57
$C \times A$	924	4	231	1.56
e	1180	8	148	—
T	8969	26	—	—

Table VII. Hardness number.

A_i	r_n	D_m			
		D_1	D_2	D_3	D_4
A_1	r_1	X_{111}	X_{121}	X_{131}	X_{141}
	r_2	X_{112}	X_{122}	X_{132}	X_{142}
	r_3	X_{113}	X_{123}	X_{133}	X_{143}
A_2	r_1	X_{211}	X_{221}	X_{231}	X_{241}
	r_2	X_{212}	X_{222}	X_{232}	X_{242}
	r_3	X_{213}	X_{223}	X_{233}	X_{243}
A_3	r_1	X_{311}	X_{321}	X_{331}	X_{341}
	r_2	X_{312}	X_{322}	X_{332}	X_{342}
	r_3	X_{313}	X_{323}	X_{333}	X_{343}

Table XI. Mean square V and mean square ratio F_0 .

S. V.	100 gf, #120		500 gf, #120		1 000 gf, #120		100 gf, #800		500 gf, #800		1 000 gf, #800	
	V	F_0	V	F_0	V	F_0	V	F_0	V	F_0	V	F_0
A	920	6.22*	167	2.24	2.76	0.146	68.2	4.40	12.7	3.94	1.69	0.813
B	645	4.36	11.5	0.154	18.1	0.960	3.13	0.202	3.14	0.969	0.238	0.115
C	163	1.10	28.6	0.383	18.1	0.960	138	8.87**	10.8	3.33	4.66	2.24
A×B	473	3.20	8.28	0.111	27.0	1.43	6.21	0.400	3.79	1.17	1.01	0.487
B×C	380	2.57	82.0	1.10	15.6	0.828	7.89	0.509	4.73	1.46	0.607	0.292
C×A	231	1.56	219	2.94	21.2	1.13	13.5	0.873	4.68	1.45	1.81	0.869
e	148	—	74.6	—	18.9	—	15.5	—	3.24	—	2.08	—

F value for 5% and 1% probability

	5%	1%
F_8^2	4.46	8.65
F_8^4	3.84	7.01

試験条件 100 gf・#120 に対して得られた硬さ数を Table IX に示す。Table X には、Table IX より求めた分散分析表を示しておいた。他の 5 条件についても同様に、求めた硬さ数より分散分析表を求め、その中から V と F_0 とを抜き出して各条件ごとにまとめたものが Table XI である。なお、Table XI には、自由度 $\phi_1=2$, $\phi_2=8$ と $\phi_1=4$, $\phi_2=8$ における 5%, 1% 危険率のときの F の値を F 分布表より抜き出しておいた。この場合の検定においては、各試験条件のいかなる効果においても有意差は存在してはならないという前提に立って検定を行った。

Table XI の各効果において、得られた F_0 の値と F 分布表からの値とを比較すると、100gf・#120 の主効果 A において $F_0 > F_8^2(0.05)$ となり、5% の危険率(*)で有意差が認められた。また、100gf・#800 の主効果において $F_0 > F_8^2(0.05)$, $F_0 > F_8^2(0.01)$ となり、5%, 1% の危険率(**)で有意差が認められた。これは、100gf・#120 では、試験片間に、100gf・#800 では、横方向の測定位置間に得られた硬さ数において相違が生じたことを示している。よって、この 2 条件では、得られる硬さ数に相違が生じるので硬さ測定は不可能と言える。他の 4 条件では、すべての効果において、 $F_0 < F_8^2(0.05)$, $F_0 < F_8^2(0.01)$, $F_0 < F_8^4(0.05)$, $F_0 < F_8^4(0.01)$ となり、有意差は認められず、硬さ測定が可能であることが示された。ここで、Vitovec²⁾の研究においても、硬さ試験荷重が大きくなると、ばらつきは小さくなると報告されているように、本実験において得られたばらつきの割合を示す標準偏差の推定量である不偏分散 V についてみると、500gf・#120 > 1 000gf・#120 > 500gf・#800 > 1 000gf・#800 となり、硬さ試験荷重が大きく、最終的研摩の良い方がばらつきの小さい硬さ数が得られることが示された。

しかし、微小硬さにおいては、硬さ試験荷重によっ

て、得られる硬さ数には相違が生じる。つまり、荷重依存性があるとする説と荷重依存性はないとする説がある。つまり、試験荷重を変えた場合に得られる硬さ数を同等に扱うことができるか否かという問題がある。よって、硬さ試験荷重によって、硬さ数に相違が生じかどうかを検定するために、最終研摩別に分散分析を行った。その結果を Table XII と Table XIII に示す。表中の W は、硬さ試験荷重の主効果を表す。最終研摩 #120, #800 のいずれの場合においても、 F_0 が $F_{78}^2(0.05)=3.11$, $F_{78}^2(0.01)=4.89$ より大きくなり、有意差が認められ、硬さ試験荷重によって硬さ数に相違が生じることが示された。そこで、各硬さ試験荷重において、得られた硬さ数の平均値の間に有意差があるかどうかを検定する。最終研摩 #120 における硬さ試験荷重 100gf, 500gf, 1 000gf の硬さ数の平均値は、それぞれ 147, 114, 106 となり、#800 の場合は、115, 96.5, 93.1 となった。検定の結果、#120 の場合、平均値の差が 6.64 以上、#800 では、1.76 以上あると有意差があることが示された。よって、いずれの最終研摩においても、各硬さ試験荷重で得られた硬さ数の平均値の間には、すべて有意差があるという

Table XII. Analysis of variance table (#120).

S. V.	S	ϕ	V	F_0
W	25 740	2	12 870	85.8**
e	11 700	78	150	—
T	37 440	80	—	—

Table XIII. Analysis of variance table (#800).

S. V.	S	ϕ	V	F_0
W	7 192	2	3 596	342**
e	819.6	78	10.5	—
T	8 011.6	80	—	—

ことになる。

また、町田の研究において示されているように、試料表面のあらさによって、硬さ数に影響を及ぼすことが示されている。よって、本実験で使用した最終研摩によって、硬さ数に相違が生じるかどうかを硬さ試験荷重別に検定したところ、

$$100\text{gf}-t_0=8.725>t(\phi=29.73, 0.05)=2.043$$

$$500\text{gf}-t_0=9.451>t(\phi=29.03, 0.05)=2.045$$

$$1000\text{gf}-t_0=14.55>t(\phi=30.36, 0.05)=2.041$$

となり、すべてに有意差が認められた。これは、最終研摩によっても硬さ数に相違が生じることを示している。そこで、各最終研摩において、得られた硬さ数の平均値の間に有意差があるかどうかを検定する。ここで、各硬さ試験荷重の各最終研摩における硬さ数の平均値を示すと、

$$100\text{gf} \begin{cases} \#120, 147 \\ \#800, 115 \end{cases} \quad 500\text{gf} \begin{cases} \#120, 114 \\ \#800, 96.5 \end{cases}$$

$$1000\text{gf} \begin{cases} \#120, 106 \\ \#800, 93.1 \end{cases}$$

となった。検定の結果、平均値の差が100gfで7.56, 500gfで3.76, 1000gfで1.77以上の場合には、有意差があることが示された。よって、いずれの硬さ試験荷重においても、各最終研摩で得られた硬さ数の平均値の間には、すべて有意差があるということになる。

以上述べたように、引張負荷応力のない場合、試験条件500gf・#120, 1000gf・#120, 500gf・#800, 1000gf・#800で硬さ測定は可能となり、1000gf・#800でばらつきは最小になることが示された。また、硬さ試験荷重、最終研摩によって、得られる硬さ数には相違が生じ、それぞれの平均値間にもすべて相違が生じることが示された。

4・2 引張負荷応力を加えた場合

4・1節において、硬さ測定が可能となった4条件について実験を実施した。

4・2・1 各試験条件の分散分析 Table XIV には、試験条件500gf・#120のときの硬さ数を示し、これより求めた分散分析表をTable XVに示した。他の3条件についても同様に、求めた硬さ数より分散分析表を求め、その中から V と F_0 とを抜き出してまとめたものが、Table XVIである。Table XVIには、各自由度に対する5%、1%危険率のときの F の値を F 分布表より抜き出しておいた。

この場合の検定は、主効果Dにおけるのみ有意差が存在すべきである（引張負荷応力によってのみ硬さ数が増加する）という前提に立って検定を実施した。各効果において、得られた F_0 の値と F 分布表からの値とを比較すると、各条件の主効果Aでは、 $F_0 < F_{24}^2(0.05)$, $F_0 < F_{24}^2(0.01)$ となり、また、交互作用効

Table XIV. Hardness number (500 gf・#120).

		D_1	D_2	D_3	D_4
A_1	r_1	109	107	101	97.3
	r_2	103	106	100	94.6
	r_3	109	103	102	100
A_2	r_1	112	109	99.0	99.4
	r_2	108	109	99.2	94.6
	r_3	111	106	111	98.1
A_3	r_1	116	106	98.3	100
	r_2	113	109	102	95.4
	r_3	113	106	100	95.4

Table XV. Analysis of variance table (500 gf・#120).

S. V.	S	ϕ	V	F_0
A	30.3	2	15.2	2.78
D	921	3	307	56.2
$A \times D$	69.2	6	11.5	2.11
e	131	24	5.46	—
T	1151	35	—	—

Table XVI. Mean square V and mean square ratio F_0 .

S. V.	500 gf, #120		1000 gf, #120		500 gf, #800		1000 gf, #800	
	V	F_0	V	F_0	V	F_0	V	F_0
A	15.2	2.78	2.34	0.294	7.27	2.04	0.216	0.0815
D	307	56.2**	163	20.5**	70.5	19.7**	81.9	30.9**
$A \times D$	11.5	2.11	2.89	0.363	0.378	0.106	0.495	0.187
e	5.46	—	7.96	—	3.57	—	2.65	—

F value for 5% and 1% probability

	5%	1%
F_{24}^2	3.40	5.61
F_{24}^3	3.01	4.72
F_{24}^6	2.51	3.67

果 $A \times D$ では、 $F_0 < F_{24}^6(0.05)$, $F_0 < F_{24}^6(0.01)$ となり、有意差は認められなかった。主効果Dにおいては、 $F_0 > F_{24}^3(0.05)$, $F_0 > F_{24}^3(0.01)$ となり、5%、1%危険率(**)で、いずれの試験条件においても有意差が認められた。

KoKubo, Vitovec, 平・吉岡等の研究においても、弾性域内での引張負荷応力が、硬さ数を変化させることが示されているが、統計的手法を用いた場合においても、引張負荷応力の効果によってのみ硬さ数が増加することが示された。

4・2・2 回帰分析 4・2・1節において、4条件とも引張負荷応力の効果によってのみ硬さ数が増加することが示されたので、両者の間に直線関係があるかどうかを検定する。まず、500gf・#120の場合につい

Table XVII. Analysis of variance table
(500 gf・#120).

S. V	S	ϕ	V	F_0
Due to regression	883.6	1	883.6	88.5**
e	339.4	34	9.982	—
T	1223	35	—	—

Fig. 3. Regression line and confidence interval for the measuring condition 500 gf・#120.

て述べると、Table XIV の硬さ数より求めた分散分析表が Table XVII である。ここで、 $F_0 > F_{34}^1(0.01) = 7.75$ であるので、両者の間には、直線関係があることがわかる。そこで、回帰直線、信頼区間を求めると、Fig. 3 のようになった。同様に、他の 3 条件についても分散分析表を求め、検定を行うと、

$$1000\text{gf} \cdot \#120 - F_0 = 65.4 > F_{34}^1(0.01)$$

$$500\text{gf} \cdot \#800 - F_0 = 49.5 > F_{34}^1(0.01)$$

$$1000\text{gf} \cdot \#800 - F_0 = 122 > F_{34}^1(0.01)$$

となり、直線関係が認められた。これらの回帰直線、信頼区間については、Fig. 4~6 に示した。図中の σ_t は、引張負荷応力である。なお、Kokubo, 平, 吉岡, Sines・Carlson の研究において示されているように、引張負荷応力を加えた場合、弾性域では、負荷応力の効果によってのみ硬さ数は減少するが、塑性域においては、負荷応力と加工硬化の相乗作用効果により、直線のこう配は、種々変化することが示されている。また、圧縮負荷応力は、硬さ数を増加させ、その効果は、引張の場合より少いことが示されている。よって、Fig. 3~6 における回帰直線および信頼区間は、本実験に用いられた試料の降伏点 (23.8 kgf/mm^2) 以下および応力のない場合 (0 kgf/mm^2) 以上の範囲に限定される。また、求まった回帰直線、信頼区間は、応力より硬さ数を推定するものであるが、逆推定することも可能である。例として、 $1000\text{gf} \cdot \#800$ の場合について逆推定すると、

$$\sigma_t = 264.0 - 2.838\text{MHVN}$$

$$\pm 2.032\sqrt{0.05580 + 0.006427(\text{MHVN} - 93.0)^2}$$

Fig. 4. Regression line and confidence interval for the measuring condition 1000 gf・#120.

Fig. 5. Regression line and confidence interval for the measuring condition 500 gf・#800.

Fig. 6. Regression line and confidence interval for the measuring condition 1000 gf・#800.

となる。ここに σ_t は引張負荷応力であり、MHVN は、マイクロビッカース硬さ数である。

ここで、各条件において、求められた回帰直線の回帰係数の一様性を検定するために、共分散分析をし、分散分析表を求めたところ、 $F_0 < F_8^3(0.05) = 4.07$ 、 $F_0 < F_8^3(0.01) = 7.59$ となり、有意差は認められなかった。よって、4 条件の回帰係数は、等しいことが示された。これは、4 条件であれば、どの条件を用いても応力を硬さによって検知する場合、同じ感度をもって検知することが可能なことを示している。

また、各条件の信頼区間は、Fig. 3~6 に示したよ

Table XVIII. Analysis of variance table.

S V	S	ϕ	V	F_0
Between means	16.46	3	5.487	3.91
Within means	11.24	8	1.405	—
T	27.70	11	—	—

うに、硬さ試験荷重が大きく、最終研摩の良い方が小さくなり、精度の高い推定ができることを示している。たとえば、推定精度の最も良くなる条件においては、 $1000\text{gf} \cdot \#800$ と同程度の信頼区間を得るためには、他の3条件では、どの程度の測定点数が必要であるか求めると、 $1000\text{gf} \cdot \#800$ で36であるのに対し、 $500\text{gf} \cdot \#120$ で179、 $1000\text{gf} \cdot \#120$ で128、 $500\text{gf} \cdot \#800$ で68となる。

5 結 言

試料 SS34 に単軸引張応力を加え、硬さ試験荷重および最終研摩を変数とし、統計的手法を用いることによって、弾性域内での引張負荷応力が微小硬さに及ぼす影響についての実験を行った結果、次の事柄が明らかとなった。

(1) 引張負荷応力のない場合、 $500\text{gf} \cdot \#120$ 、 $1000\text{gf} \cdot \#120$ 、 $500\text{gf} \cdot \#800$ 、 $1000\text{gf} \cdot \#800$ の試験条件で硬さ測定は可能となり、硬さ数のばらつきは、試験条件 $1000\text{gf} \cdot \#800$ で最小となる。

(2) また、硬さ試験荷重、最終研摩の変化によって得られる硬さ数には、相違が生じる。

(3) 引張負荷応力を加えた場合、試験条件 $500\text{gf} \cdot \#120$ 、 $1000\text{gf} \cdot \#120$ 、 $500\text{gf} \cdot \#800$ 、 $1000\text{gf} \cdot \#800$ において、応力の効果によってのみ硬さ数は変化する。よって、最終研摩を $\#120(2.8\text{S})$ 以上で行い、硬さ試験荷重 $500\text{gf} \sim 1000\text{gf}$ を使用すれば、硬さ測定に

よって応力を推定することが可能であると考えられる。

(4) 引張負荷応力と硬さ数間には、直線関係があり、信頼区間は、硬さ試験荷重が大きく、最終研摩の良い方が小さくなるが、回帰係数は等しくなる。

(5) 引張負荷応力を加えた場合の試験条件としては、回帰係数が等しいことより、信頼区間の最も小さくなる $1000\text{gf} \cdot \#800$ が最適である。

(昭和56年5月18日 日本材料学会第30期学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) Kokubo, S., Science Report, Tohoku, Univ., **21**, 256 (1932).
- 2) Vitovec, F. H., WADC Technical Report, 56 (1956).
- 3) 平 修二, 吉岡靖夫, 材料試験, **11**, 675 (1962).
- 4) Oppel, G. V., Experimental Mechanics, **4**, 135 (1964).
- 5) Sines, G., and R. Carlson, ASTM Bulletin, 35 (1952).
- 6) Blain, P. A., Metal Progress, **71**, 99 (1957).
- 7) Underwood, J. H., Experimental Mechanics, **13**, 373 (1973).
- 8) 吉野利男, 材料試験, **20**, 2 (1975).
- 9) 真壁 肇, “品質管理”, 第7, 9章 (1974) 朝倉書店
- 10) 近藤良夫, 舟阪 渡, “技術者のための統計的方法”, 第4, 7章 (1977) 共立出版
- 11) JIS ハンドブック品質管理, 343 (1977) 日本規格協会
- 12) 森口繁一, “品質管理講座, 新編統計的方法”, 第6, 8, 9章 (1977) 日本規格協会
- 13) Cambell, R. F., Q. Henderson, and M. R. Donleavy, Trans. Am. Soc. Metals, **40**, 954 (1948).
- 14) 吉沢武男, 中村嘉良, 硬さ研究会, **19**, 79, 58 (1953).
- 15) 町田周郎, 硬さ研究会, **26**, 161, 151 (1960).