各種測定法による硬さの換算法に関する研究委員会報告*

各種測定法による硬さの換算法に関する研究委員会

Report of Research Committee for Hardness Conversion in Various Hardness Tests

Research Committee on Hardness Conversion in Various Hardness Tests

In spring factory, large size springs are manufactured in hot forming process. In many cases, the hardness of hot formed springs is inspected by Brinell hardness test. The quality agreement between customer and manufacturer on hardness is often established by other hardness like Vickers and Rockwell hardness, though the spring hardness quality control in shop floor is done by Brinell hardness. Therefore, hardness conversion is often carried out. SAE-J417 has been used for the hardness conversion in the spring industry for this purpose. However, it is often said that the hardness conversion value is not adequate in the area where the hardness is higher than conventional area. This committee started on investigating the difference between SAE-J417 conversion data and various spring hardness test data on June 2007. The purpose of this committee is to offer the new conversion data between various hardness tests for the spring steel and to establish JSMA standard. As a result of three years activity, following findings were obtained.

- (1) It has been understood that the correlation in Brinell hardness, Rockwell hardness and Vickers hardness is not necessarily correct in SAE-J417 data as the result of various hardness tests on SUP9 spring steel.
- (2) The dispersion was $\pm 1.5\%$ in maximum when measuring the hardness by Brinell hardness tester, Rockwell hardness tester and Vickers hardness tester.
- (3) The dispersion was about one percent as a result of investigating the influence of testing load in Vickers hardness measuring.
- (4) The correlation between various hardness tests using several grades of spring steel did not show clear difference by steel grades. (So, the committee made a new conversion table for spring steel by treating all the data from different steel grades as data from one grade.)

Key Words: SAE-J417, Hardness, Spring Steels, SUP9, Conversion

1. 目 的

ばね業界の製造現場では、大きさが比較的大きいばねは熱間成形される場合が多く、その管理は (Fig. 1参照)、工程内で検査が可能かつ検査後のワークを廃却しないで済むブリネル硬さ試験を適用している。品質管理はブリネル硬さ試験で実施しているが、品質協定はビッカース硬さやロ

ックウェル硬さなど他の硬さで規定されていることがある。また逆に、ブリネル硬さで規定されている製品であっても、客先や開発現場ではブリネル試験が容易でない場合もあり、ロックウェル硬さやビッカース硬さ試験での評価が行われることもある。また、同一の製品であっても、使用される国によってロックウェル硬さで規定されているものやブリ

Fig. 1 Main manufacturing process of hot formed springs.

ネル硬さで規定されているものがある。そのため、製造現場の硬さ試験と開発現場、客先、国別での硬さ試験は異なる場合が多々あり、各種硬さ試験間の換算は日常的に行われている。試験間の硬さ換算をばね業界では硬さ換算表SAE-J417を従来から用いてきた。ばねの実用硬さ域は概ね200–700HVであるが、ばねの硬さが硬い領域において各種硬さ測定法の換算値は不整合であるとの情報が寄せられている。硬さ換算しなければならない事例や換算値の不整合例をFig. 2に示す。硬さ換算に関する研究はいくつかなされている¹⁾が、研究されている硬さ域がばねに比べて低く、ばねにおける硬さ換算の知見は少ないといえる。

このような背景のもと本委員会では、SAE-J417換算表とばね鋼の各種硬さ試験間の相関データとの違いについて2007年6月より調査を開始した。目的はばね鋼を対象として、各種測定法間の新たな換算表を提供すること、およびJSMA規格化することである。

委員会メンバ

委員長	小倉 潤司 (三菱製鋼㈱)
副委員長	住吉 功 (日本発条㈱)
委員	内海 邦広 (㈱アドバネクス)
	小笠原永久 (防衛大学校)
	栗崎 俊雄 (㈱スミハツ)
	三國 博樹 (㈱ホリキリ)
	堀部 良之 (中央発条㈱)
アドバイザー	宮原 健介 ((独)物質・材料研究機構)
	山本 卓 (㈱山本科学工具研究社)
事務局	伊藤由紀子 (日本ばね学会)

2. 実験の方向性

実験の方向性を決めるために各社で実施している硬さ試験方法を調査したところ、ブリネル硬さ、ロックウェル硬さ、ビッカース硬さ試験を実施するのは熱間ばねが主であった。小物ばねにはマイクロビッカース硬さ試験が多く用いられており、引張強さとの相関も重要視するとのことであった。また、硬さを決定する様々な要因についてディスカッションした結果、以下のような意見が出された。

硬さの支配要因にはどのようなものがあるだろう？ 化学成分、熱処理(組織)、結晶粒度、残留ひずみなど

- (1) いくつかの硬さ試験を1断面内で実施したく、径の太い材料で試験すべきである。
- (2) 径が太くてもできるだけ均一な熱処理組織が得られる材料で試験すべきである。
- (3) ベースデータの作成が目的であるので材料（化学成分）は絞ったほうがよい。また、多くの分野で利用されているばね鋼が望ましい。

(4) 幅広い硬さ領域について調査する必要がある、広範に調質できる材料が望ましい。

(5) 材料（化学成分）による差が明瞭を確認すべきである。

(6) 測定したデータには試験機の機差も含まれるため、機差について検討すべきである。

(7) 硬さ試験時の条件はできるだけ同じにすべきである。

上記をもとに実験に用いるベースの材料にはSUP9 ϕ 31mmを選定した。鋼種の違いについて検討すべく各社で量産されているばねの硬さ（材質：S45C, S48C, SUP11A, SUP12V, SCM435, SCM822）を追加で調査した。各社の試験機差について検討すべく、山本科学工具研究社製ビッカース基準片でラウンドロビン試験することとした。硬さ試験条件の影響として埋込み樹脂の硬さ値への影響、ビッカース硬さ試験における試験荷重の影響について検討することとした。本委員会での試験の流れ・概略（フローチャート）をFig. 3に示す。なお、冷間ばねでの調査は残留ひずみによる硬度ばらつきが生ずるため、データの取扱いが難しくなることが予測されるので除外した。

3. 硬さ変化要因の検討

3.1 機差の影響

テストピースは山本科学工具研究社製のビッカース硬さ基準片300HV, 500HV, 700HVである。試験条件及び方法は・ブリネル硬さ試験（HBW）：10mm球圧子、荷重3000kgf
・ロックウェル硬さ試験（HRC）：ダイヤモンド圧子、荷重150kgf
・ビッカース硬さ試験（HV）：ダイヤモンド圧子、荷重0.1–30kgf

圧痕間隔はJIS規格を参考に圧痕径の3倍以上とる（Fig. 4参考）。同一のテストピースを用いてラウンドロビン試験を実施した。

評価指標は式（1）の値をばらつき値とした。各種硬さ試験の結果、試験機が異なることによるデータばらつきは最大で±1.5%程度であった。

$$\text{ばらつき値} = (H_{\text{ave}} - H_{\text{lave}}) / H_{\text{lave}} \dots\dots\dots (1)$$

H_{ave} ：各社平均値

H_{lave} ：全データ平均値

ブリネル硬さ試験（Table 1, 2, 3, Fig. 5, 6）

ロックウェル硬さ試験（Table 4, 5, 6, Fig. 7, 8）

ビッカース硬さ試験（Table 7, 8, 9, Fig. 9, 10）

3.2 ビッカース硬さに対する試験荷重の影響

3.1のビッカース硬さ試験は試験荷重の影響についても検討したこととなる。Fig. 9, Table 7, 8, 9の結果を参照すれば、0.1kgf, 1kgf, 10kgf, 30kgfの荷重の影響は1%程度であり、ブリネル硬さ試験のばらつきより小さいレベルといえる。よって、本試験では試験荷重の影響はないと判断して異なる試験荷重のビッカース硬さを一つのデータとして取り扱うこととした。

Fig. 2 The case of adjustment or non- adjustment in hardness conversion.

Fig. 3 Study items and flow chart.

Fig. 4 Method of hardness tests.

Fig. 5 Brinell hardness (mean value).

Fig. 6 A Brinell hardness impression.

Fig. 7 Rockwell hardness (mean value).

Fig. 8 A Rockwell hardness impression.

Fig. 9 Vickers hardness (mean value).

Fig. 10 A Vickers hardness impression.

Table 1 Brinell hardness in 700HV standardized blocks.

Average of all data: 677.5HBW	Mitsubishi Steel	Horikiri	Sumihatsu	NHK Spring
Average	688.0 HBW	682.0 HBW	672.0 HBW	667.9 HBW
Maximum data	688.0 HBW	682.0 HBW	676.0 HBW	671.7 HBW
Minimum data	688.0 HBW	682.0 HBW	670.0 HBW	661.0 HBW
Difference to average	+1.55%	+0.67%	-0.81%	-1.41%

Table 2 Brinell hardness in 500HV standardized blocks.

Average of all data: 488.6HBW	Mitsubishi Steel	Horikiri	Sumihatsu	NHK Spring
Average	492.0 HBW	495.0 HBW	482.3 HBW	484.9 HBW
Maximum data	492.0 HBW	495.0 HBW	485.0 HBW	488.6 HBW
Minimum data	492.0 HBW	495.0 HBW	477.0 HBW	482.5 HBW
Difference to average	+0.71%	+1.32%	-1.27%	-0.75%

Table 3 Brinell hardness in 300HV standardized blocks.

Average of all data: 299.1HBW	Mitsubishi Steel	Horikiri	Sumihatsu	NHK Spring
Average	299.3 HBW	302.0 HBW	296.0 HBW	298.9 HBW
Maximum data	302.0 HBW	302.0 HBW	298.0 HBW	299.2 HBW
Minimum data	298.0 HBW	302.0 HBW	295.0 HBW	298.7 HBW
Difference to average	±0%	+0.98%	-1.02%	±0%

Table 4 Rockwell hardness in 700HV standardized blocks.

Average of all data: 60.0HRC	Mitsubishi Steel	Horikiri	Sumihatsu	Chuo Spring	NHK Spring
Average	60.4 HRC	59.8 HRC	59.9 HRC	59.7 HRC	60.3 HRC
Maximum data	60.4 HRC	59.9 HRC	60.0 HRC	59.8 HRC	60.5 HRC
Minimum data	60.3 HRC	59.6 HRC	59.7 HRC	59.6 HRC	60.2 HRC
Difference to average	+0.59%	-0.36%	-0.24%	-0.52%	+0.53%

Table 5 Rockwell hardness in 500HV standardized blocks.

Average of all data: 48.7HRC	Mitsubishi Steel	Horikiri	Sumihatsu	Chuo Spring	NHK Spring
Average	49.2 HRC	48.4 HRC	48.2 HRC	48.6 HRC	49.0 HRC
Maximum data	49.3 HRC	48.8 HRC	48.4 HRC	48.8 HRC	49.1 HRC
Minimum data	49.2 HRC	48.0 HRC	48.0 HRC	48.3 HRC	48.9 HRC
Difference to average	+1.14%	-0.64%	-0.99%	-0.16%	+0.66%

Table 6 Rockwell hardness in 300HV standardized blocks.

Average of all data: 30.7HRC	Mitsubishi Steel	Horikiri	Sumihatsu	Chuo Spring	NHK Spring
Average	30.8 HRC	30.4 HRC	30.7 HRC	30.7 HRC	30.6 HRC
Maximum data	30.9 HRC	30.5 HRC	30.8 HRC	30.9 HRC	31.1 HRC
Minimum data	30.7 HRC	30.2 HRC	30.7 HRC	30.5 HRC	30.3 HRC
Difference to average	+0.57%	-0.96%	+0.24%	+0.24%	-0.09%

Table 7 Vickers hardness in 700HV standardized blocks.

Average of all data: 703.5HV	Mitsubishi Steel 30kgf	Horikiri 30kgf	Sumihatsu 10kgf	Chuo Spring 0.1kgf	Advanex 0.1kgf	NHK Spring 1kgf
Average	701.0 HV	701.8 HV	704.0 HV	701.3 HV	704.7 HV	708.1 HV
Maximum data	705.0 HV	703.7 HV	707.0 HV	702.4 HV	706.0 HV	712.7 HV
Minimum data	699.0 HV	699.1 HV	698.0 HV	699.9 HV	704.0 HV	704.6 HV
Difference to average	-0.35%	-0.24%	+0.08%	-0.31%	+0.17%	+0.65%

Table 8 Vickers hardness in 500HV standardized blocks.

Average of all data: 498.8HV	Mitsubishi Steel 30kgf	Horikiri 30kgf	Sumihatsu 10kgf	Chuo Spring 0.1kgf	Advanex 0.1kgf	NHK Spring 1kgf
Average	497.3 HV	498.3 HV	496.3 HV	495.3 HV	501.7 HV	504.1 HV
Maximum data	499.0 HV	500.8 HV	503.0 HV	497.6 HV	503.0 HV	519.5 HV
Minimum data	495.0 HV	496.1 HV	493.0 HV	493.0 HV	501.0 HV	500.4 HV
Difference to average	-0.30%	-0.11%	-0.50%	-0.71%	+0.57%	+1.05%

Table 9 Vickers hardness in 300HV standardized blocks.

Average of all data: 299.7HV	Mitsubishi Steel 30kgf	Horikiri 30kgf	Sumihatsu 10kgf	Chuo Spring 0.1kgf	Advanex 0.1kgf	NHK Spring 1kgf
Average	299.3 HV	299.7 HV	300.0 HV	300.4 HV	298.0 HV	301.0 HV
Maximum data	301.0 HV	300.0 HV	302.0 HV	301.1 HV	299.0 HV	305.1 HV
Minimum data	298.0 HV	299.5 HV	299.0 HV	299.6 HV	296.0 HV	298.8 HV
Difference to average	-0.14%	±0	+0.08%	+0.22%	-0.58%	+0.43%

3.3 埋込み樹脂の影響

埋込み樹脂有無による硬さへの影響をロックウェル硬さ試験 (HRC), ビッカース硬さ試験 (30kgf) で比較した。試験片はSCM435板厚20mm材, 450HVに調質したものと, SUP11A板厚16mm材の素材のままのものである。試料は断面を切断して埋込み樹脂有無で準備し, 断面をエメリー紙で研磨後, バフにて鏡面仕上げとした。試験はt/4部に8点ずつ実施した。試験の結果をFig. 11に示す。ビッカース硬さ試験では埋め込み樹脂の差は認められなかったが, ロックウェル硬さ試験では差が認められた。よって, プリネル, ロックウェル, ビッカース硬さ試験を同一サンプルで実施するためには鋼材のまま研磨して使用すべきである。

4. SUP9を用いた硬さ試験片の調査

4.1 供試材料

供試材SUP9の化学成分をTable 10に示す。寸法は $\phi 31\text{mm} \times 100\text{mm}$ の丸棒材であった。

4.2 熱処理条件

焼入れ: $900^{\circ}\text{C} \times 20\text{min}$ 在炉後, 油焼入れ

焼戻し: 300°C (600HV), 410°C (500HV), 525°C (400HV), 660°C (300HV) 在炉1時間

4.3 テストピース作製方法

厚さ20mmに切断して, 平面研削後, エメリー紙研磨, バフによる鏡面仕上げとした。

4.4 熱処理組織調査

組織調査の結果をFig. 12に示す。内部組織は焼戻しマルテンサイトであった。

4.5 硬さ分布調査

硬さ分布調査方法をFig. 13に, 調査した結果をFig. 14に示す。結果より, 中心付近のデータへの影響を考慮して硬さの調査部位はD/4部に統一した。なお, 他の量産ばねの調査についてもD/4もしくはt/4部の調査に統一した。

4.6 各種硬さ試験結果

1つのテストピースに対してFig. 15に示すように各種硬さ試験を4点ずつランダムに実施して平均値を求めた。

各種硬さ試験を実施し, HRC-HVの相関をFig. 16, HBW-HVの相関をFig. 17, HBW-HRCの相関をFig. 18にそれぞれ示す。

HRC-HVの相関では500HV~600HVのデータにおいて, SAE換算よりもビッカース硬さが高めとなっている。HBW-HVの相関では全域において, SAE換算よりもビッカース硬さがやや低めとなっている。HBW-HRCの相関では全域において, SAE換算よりもロックウェルが低めとなっている。

4.7 考察

鋼種の違いによる硬さの相関関係はFig. 16, 17, 18よりSUP9, ビッカース基準片, 量産ばね鋼それぞれに明瞭な違いは認められない。よって全実験データを1つのデータとして取扱うこととした。1つのデータとしてまとめたものをFig. 19, 20, 21に示す。全実験データの近似曲線とSAE-J417の曲線にはいずれの相関関係においても一致していないことがわかる。

換算表の作成にあたり, SAE-J417の起源について調査したところ, SAEの硬さ換算表は本委員会の活動と同様に広範な硬さの測定データをもとに得られた近似曲線, 近似式から作成されていることがわかった²⁾。よって, 本委員会においても実験データから得られた近似曲線, 近似式から換算表を作成して差し支えないものと判断し, 新たに換算表を作成した。HRC-HVの換算表をTable 11, HBW-HVの換算表をTable 12, HBW-HRCの換算表をTable 13にそれぞれ示す。

5. まとめ

ばね鋼を対象として各種測定法間の新たな硬さ換算表を提供するために委員会活動を実施し, 以下の結果が得られた。

- (1) 焼戻しにより硬さを4水準に変化させたSUP9, 硬さ3水準のビッカース基準片, 各社製品の量産ばねに対して各種硬さ試験を実施した結果, プリネル硬さ, ロックウェル硬さ, ビッカース硬さの相関関係はSAE-J417と必ずしも一致しないことがわかった。
- (2) 各社のプリネル硬さ, ロックウェル硬さ, ビッカース硬さ試験機の機差を検討した結果, ばらつきはいずれの試験機においても最大で $\pm 1.5\%$ 程度であった。
- (3) ビッカース硬さ試験の試験荷重による硬さへの影響を調査した結果, ばらつきは $\pm 1\%$ 程度であった。
- (4) SUP9, ビッカース基準片, 各社量産ばね鋼の各種硬さ試験との相関関係には鋼種による明瞭な違いは認められず, 1つのデータとして取扱い換算表を作成した。

参考文献

- 1) 吉沢武男編, 硬さ試験法とその応用, 裳華房 (昭和42), 291-297.
- 2) ASTM E140-07, (2007).

Fig. 11 Influence of mold resin on hardness.

0.01mm

Fig. 12 Microstructure of SUP9 heat treated.

Fig. 13 Test method of hardness distribution of SUP9.

Fig. 14 Hardness distribution of SUP9.

Fig. 15 Test method of hardness.

Fig. 16 Hardness conversion between Rockwell and Vickers (distinction of steel grade).

Fig. 17 Hardness conversion between Brinell and Vickers (distinction of steel grade).

Fig. 18 Hardness conversion between Brinell and Rockwell (distinction of steel grade).

Fig. 19 Hardness conversion between Rockwell and Vickers (all data).

Fig. 20 Hardness conversion between Brinell and Vickers (all data).

Fig. 21 Hrdness conversion between Brinell and Rockwell (all data).

Table 10 Chemical composition of test piece of SUP9.
(mass %)

C	Si	Mn	Cr	P	S
0.58	0.24	0.94	0.94	0.009	0.002

Table 11 Hardness conversion table of Rockwell to Vickers and Brinell.

HRC	HV	HBW
60	702	674
59	684	653
58	666	634
57	648	615
56	631	597
55	613	580
54	596	564
53	579	548
52	562	532
51	546	518
50	530	504
49	514	490
48	499	477
47	484	464
46	470	451
45	456	439
44	442	428
43	429	416
42	416	405
41	404	394
40	393	384
39	381	374
38	371	364
37	360	354
36	351	345
35	341	336
34	332	327
33	324	318
32	316	310
31	308	302
30	301	294
29	294	287
28	288	280
27	282	273
26	276	267
25	270	261

Table 12 Hardness conversion table of Brinell to Vickers and Rockwell.

HBW	HV	HRC	HBW	HV	HRC
700	733	61	450	467	46
690	722	60	440	456	45
680	711	60	430	445	44
670	701	60	420	435	43
660	690	59	410	424	42
650	680	59	400	413	42
640	669	58	390	403	41
630	658	58	380	392	40
620	648	57	370	381	39
610	637	57	360	371	38
600	626	56	350	360	37
590	616	56	340	349	36
580	605	55	330	339	34
570	594	55	320	328	33
560	584	54	310	318	32
550	573	53	300	307	31
540	562	53	290	296	29
530	552	52	280	286	28
520	541	51	270	275	27
510	530	50	260	264	25
500	520	50	250	254	23
490	509	49	240	243	22
480	499	48	230	232	20
470	488	47	220	222	18
460	477	47	210	211	16
450	467	46	200	200	14

Table 13 Hardness conversion table of Vickers to Rockwell and Brinell.

HV	HRC	HBW	HV	HRC	HBW
700	60	668	470	46	453
690	59	658	460	45	444
680	59	649	450	45	434
670	58	640	440	44	425
660	58	630	430	43	416
650	57	621	420	42	406
640	56	612	410	42	397
630	56	602	400	41	388
620	55	593	390	40	378
610	55	584	380	39	369
600	54	574	370	38	360
590	54	565	360	37	350
580	53	556	350	36	341
570	52	546	340	35	332
560	52	537	330	34	323
550	51	528	320	33	313
540	51	518	310	31	304
530	50	509	300	30	295
520	49	500	290	28	285
510	49	490	280	27	276
500	48	481	270	25	267
490	47	472	260	24	257
480	47	462	250	22	248