薄板のロックウェルかたさ測定について*

(アンビル表面あらさおよび試料裏面あらさの影響)

黒 木 剛 司 郎** 大 森 宮 次 郎**

On the Rockwell Hardness Test of Thin Metal Sheet

(The Effects of Roughnesses of the Anvil Surface and the Reverse Surface of the Specimen)

by

Kōshiro KUROKI and Miyajiro ŌMORI

(Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi)

The Rockwell superficial hardness tester is generally used to measure the hardness of thin metal sheets. The measurement of such metal sheets as those which have comparatively low hardness ($H_V < 200$) is practiced with ball indenter and spot anvil as a rule. In this case, as the plastically deformed region would often reach the reverse surface of the specimen, the peculiar phenomenon well known as anvil effect lowers the reliability of hardness values. It is expected, moreover, that the difference of roughness of either the anvil surface or the reverse surface of the specimen will affect the hardness values.

In our study, we investigated experimentally how the roughnesses of either the anvil surface or the reverse surface of the specimen would affect the Rockwell superficial hardness readings of thin metal sheets. From these results, we have found an empirical formula which defines the interrelationships of variations in hardness, in the roughness of the surface, in the thickness of the specimen and in the depth of indentation, in order to obtain reliable hardness value. By using this formula, we shall be enabled to devise rational methods for preparing specimens and measuring their hardness.

(Received Sep. 18, 1967)

1 緒 言

薄板のかたさ測定には、通常スーパーフィシャルロックウェルかたさ試験機が用いられ、特に、用途の大半を占める比較的柔らかい($H_V < 200$) 板材に対しては、球圧子によるスポットアンビルを用いた測定が原則とされている。この場合、圧子の侵入により、試料裏面にまで塑性変形領域が到達すると、アンビル材質の相違によるかたさ測定値の差異が認められ、実用上、この差異が生じないためには、試料の板厚とくぼみ深さとの比率に一定の限界が存在することが明らかにされている¹⁾。また、アンビル表面あらさあるいは試料裏面あらさの相違により、かたさ測定値に差異を生ずることが経験的に知られている。しかし、これらのあらさの影響を数値的に解明した例は少なく、スーパーフィシャルロックウェルかたさ測定に関するただ一つの規

格である ASTM²⁾でも、アンビル表面あるいは試料裏面の具備すべき条件については、定性的な規定のみで、試料準備方法も明確でない。

本研究は、金属薄板のスーパーフィシャルロックウェルかたさ測定値に与えるアンビルスポット部の表面あらさおよび、試料の裏面あらさの影響を実験的に究明したものである。これらの結果より、信頼性ある測定値を得るために、試料厚さ、かたさとアンビル表面あらさあるいは試料裏面あらさとの相互関係において、試料あるいはアンビルの具備すべき条件の検討を行ない、試料準備あるいは測定の実施のため具体的条件を提案するものである。

2 アンビル表面あらさの影響

2・1 実験方法

2・1・1 アンビル 5個の超合金製スポットアンビルと、中央にダイヤモンド片を埋めこんだスポットアンビル1個とを使用した。Fig. 1に、それらのス

* 原稿受理 昭和42年9月18日

** 正 会 員 茨城大学工学部 日立市成沢町

Fig. 1. Roughness curves of the anvil surface.

ポット部表面あらさを示す。図中のあらさの値は、触針式あらさ計で測定した最大高さ表示のあらさ $H_{\max}$ (μ)である。なお、超硬合金アンビルでは研削痕に直角な方向のあらさを測定している。ダイヤモンドアンビルでは、あらさの方向性は認められず、きわめて良好な仕上面が認められた。したがって、本実験では、ダイヤモンドアンビルによるかたき測定値をあらさの効果を含まない基準値に定めた。また、スポット部の寸法、形状は、超硬合金アンビルで直径、高さともに 5 mm の円柱状、ダイヤモンドアンビルでは、 4.0×5.3 mm のだ円状である。

2・1・2 試料 冷間圧延鋼板、黄銅板および銅板の 3 種で、それらの板厚は、鋼板 0.33, 0.50 および 0.81 mm, 黄銅板 0.32, 0.53 および 0.83 mm, 銅板 0.27, 0.52 および 0.79 mm のおのおのほぼ等しい 3 種である。各素材から、約 15×100 mm の長方形の試験片を切り出し、それらについて、あらかじめ鋼板および黄銅板では $H_R 30T$ 、銅板では $H_R 15T$ のかたき測定を行ない、その値の均一なもののみを採用した。なお、試料の表裏面とも市販のままであるが、あらさ $H_{\max}$ は、鋼板の板厚 0.33 および 0.50 mm のもので 0.5μ , 0.81 mm のもので 0.8μ , 黄銅板と銅板では全試料とも約 0.1μ である。

2・1・3 試験機および試験条件 本実験に使用した試験機は、今井製 3 S 型スーパーフィシャルロックウェルかたき試験機で、荷重付加速度については、試料のない状態で 30 kg の試験荷重のもとで 5 sec 間にダッシュポットの作動が完了するように弁の調整を行なった。また、荷重保持時間は、付加レバの停止後 30 sec に定めた。なお、測定は $H_R 45T$, 30T, 15T の各スケ

Table I. Hardness values and standard deviations σ with diamond anvil.

Specimen	Thickness (mm)	$H_R 15T$		$H_R 30T$		$H_R 45T$	
		Hardness	σ	Hardness	σ	Hardness	σ
Cold-rolled steel sheet	0.33	78.8	0.12	54.5	0.33	31.7	0.25
	0.50	74.4	0.53	46.5	0.32	19.2	1.00
	0.81	74.4	0.29	46.8	0.59	21.2	0.61
Brass sheet	0.32	76.2	0.24	50.3	0.33	27.8	0.29
	0.53	74.6	0.41	44.8	0.54	15.2	0.71
	0.83	79.0	0.36	56.4	0.47	33.3	0.33
Copper sheet	0.27	71.0	0.26	34.8	0.58	-7.7	1.63
	0.52	71.0	0.40	34.8	0.96	-5.6	1.10
	0.79	76.0	0.30	45.8	0.45	14.9	0.78

ールでおのおの 40 点を取り、その平均値を求めた。

2・2 実験結果

Table I に、各試料のダイヤモンドアンビルによる

Fig. 2. Steel sheet.

Fig. 3. Brass sheet.

Fig. 4. Copper sheet.

Figs. 2~4. Relations between $\Delta H_R T$ and $H_{\max}$.

Fig. 5. σ - $H_{\max}$ diagrams (Steel sheet).

Fig. 6. Roughness curves of the reverse surface of specimen (0.39mm steel sheet).

Table II. Hardness values and standard deviations σ of specimens with minimum roughness.

Specimen	Thickness (mm)	Minimum roughness $H_{\max}$ (μ)	H_R15T		H_R30T		H_R45T	
			Hardness	σ	Hardness	σ	Hardness	σ
Cold-rolled steel sheet	0.33	0.2	79.6	0.35	56.6	0.64	35.3	1.00
	0.39	0.5	77.6	0.47	52.4	0.67	29.2	0.71
	0.51	0.3	78.5	0.32	54.3	0.65	29.4	0.73
	0.60	0.7	78.6	0.14	54.6	0.33	30.4	0.87
Brass sheet	0.78	0.2	77.6	0.46	50.9	0.74	26.8	1.25
	0.32	0.1	75.8	0.23	49.7	0.31	26.5	0.40
	0.53	0.1	73.4	0.40	43.5	0.44	13.9	0.77
	0.85	0.1	79.5	0.35	55.3	0.58	32.4	0.62
Copper sheet	1.02	0.1	77.7	0.31	50.7	0.77	27.2	1.03
	0.27	0.1	72.4	0.35	40.0	0.69	—	—
	0.51	0.1	71.4	0.34	36.4	0.62	—	—
	0.82	0.1	77.2	0.37	48.5	0.77	—	—

かたさ測定値と、そのばらつき σ の値を示す。これらの値を基準にした各種のあらさをもつ超硬合金アンビルによる測定値の変化量 $\Delta H_R T$ とあらさ $H_{\max}$ との関係を各試験荷重ごとに示したのがFig. 2~4である。

また、Fig. 5はばらつき σ とあらさの関係を示す例である。

これらの図より、かたさ測定値はアンビルあらさの増加とともに、ダイヤモンドアンビルによる値よりも、

- (1) 常に高く現われる場合
- (2) あるあらさまでは高く、 10μ 程度のあらさで低下してくる場合
- (3) 常に低く現われる場合

が存在する。また、厚さの増加、試験荷重の減少に伴い、変化の傾向が(1)から(3)へと移行することが認められる。さらに、厚さが同程度で、試験荷重が同一の場合は、鋼板より非鉄金属板のほうがあらさによるかたさ測定値の変化が著しい。なお、Fig. 5によると、あらさおよび厚さの相違によるばらつきの差異はほとんど認められないが、試験荷重が増加するとややばらつきの増大する傾向がある。

3 試料裏面あらさの影響

3.1 実験方法

3.1.1 試料 冷間圧延鋼板、黄銅板および銅板の3種で、板厚は鋼板で0.33, 0.39, 0.51, 0.60および0.78mm, 黄銅板で0.32, 0.53, 0.85および1.02mm, また、銅板で0.27, 0.51および0.82mmである。試験片寸法は、 50×50 mmの正方形であり、その表面は、非鉄金属板では市販のままで、鋼板では充分平滑

に研磨して使用したがいずれもほぼあらさ 0.2μ 以下である。

裏面あらさの調整には、粒度No.120~No.1000のエメリー紙を使用し、 $H_{\max}10 \sim 0.1\mu$ の範囲で6種のあらさの試料群を用意した。次いで、研磨の影響を除去するため、鋼板には 650°C で1hr, 黄銅板には 190°C で30min, また銅板には 170°C で30min, N_2 ガス中の低温焼なましを施した。Fig. 6は、試料裏面あらさの例を示す。

3.1.2 試験機および試験条件 2.1.3と同一の試験機に前述のダイヤモンドアンビルを設置し、直径 $1/16$ inの超硬合金球圧子によって測定した。なお、荷重保持時間を15secとしたほかは、2.1.3の条件と同一である。

3.2 実験結果

最小の裏面あらさをもつ試料のダイヤモンドアンビルによるかたさ測定値とそのばらつき σ の値をTable IIに示す。このかたさ値を基準とした他の裏面あらさの試料のかたさ測定値の変化 $\Delta H_R T$ とあらさ $H_{\max}$ との関係を、Fig. 7~9に示す。また、Fig. 10は測定値のばらつきとあらさの関係を示す例である。

試料の裏面あらさの増大に伴い、かたさ測定値はしだいに低下し、板厚が小さく、試験荷重の大きい場合ほどこの傾向の著しいことがわかる。しかし、非鉄金属板で0.3mm程度の板厚の試料では、あらさおよび試験荷重の相違によるかたさ測定値の変化はあまり認められず、鋼板の場合と異なっている。また、Fig. 10の例に見られるように、ばらつきは試験荷重の増加

Fig. 7. Steel sheet.

Fig. 8. Brass sheet

Fig. 9. Copper sheet.

Figs. 7~9. Relations between $\Delta H_{R/T}$ and H_{max} . Fig. 10. σ - H_{max} diagrams (Steel sheet). Fig. 11. Hardness distributions H_V (100g) on the center section of H_{R45T} impressions (0.33mm steel sheet).

とともに増大する。

4 実験結果の検討

4・1 圧痕断面のかたさ分布および裏面形状

圧痕周辺のひずみ硬化の様相がアンピルの表面あらさによって変化するの否かを調べるために、圧痕中心を通る断面を作成し、その微小かたさ H_V (100g) の分布を求めた。Fig. 11は、板厚0.33mmの鋼板における H_{R45T} の圧痕の例である。中央部が最もひずみ硬化が大きく、かたさ値が高くなっていることが観察され、これは Wondris⁸⁾ らの結果と一致している。しかし、アンビル表面あらさの相違によるかたさ分布の変化はほとんど認められない。

アンビルあらさによって、圧痕周辺のひずみ硬化の様相が異なれば、圧縮に対する変形抵抗の変化をもたらす一原因となり、かたさ測定値に差異を生ずることになると判断されるが、断面かたさ分布に変化がなく、したがってひずみ硬化の様相にも相違がないとすれば、これで、かたさ測定値のあらさによる相違を説明することはできない。

Fig. 12. Reverse profiles of H_{R30T} impressions deformed by the roughness of anvil.

Fig. 13. Reverse profiles of $H_R 30T$ impressions with some roughnesses (Steel sheet).

また、Fig. 12および13は、それぞれ、アンビル表面あらさおよび試料裏面あらさの相違による試料裏面形状の変化をあらさ計で測定した例である。Fig. 12によると、アンビル表面あらさの増加に伴い、裏面の凸起部先端にあらさの食い込んだための凹凸が現われ、しだいにその高さを増し、なべ底状の平坦部が消滅していくことがわかる。Fig. 13によると、裏面の凸起部のあらさの凹凸がダイヤモンドアンビルの表面によって平坦化し、板厚の小さいほどこの平坦化が著しいことが観察される。

4・2 考察および検討

上述のように、アンビル表面あらさの凹凸は、試料裏面に侵入し、圧痕形成の過程、ひいてはかたさ測定値に影響を与えることになるが、その影響のおもな要因として、次の二つがあげられる。

- (a) アンビル表面に沿った金属の流動に対し、あらさの凹凸が与える抵抗による圧子侵入深さの減少
- (b) あらさの谷間への金属の流入量の増大に伴う圧子侵入深さの増加

これらの各要因が重なって、圧痕形成過程に影響し、2・2の(1)～(3)の結果を生ずるものであろう。たとえば、(1)には(a)が最も大きい要因となり、(2)には、あるあらさまでは(a)の影響が大きく、次いで(b)が支配的となり、また、(3)にはもっぱら(b)の作用が大きいと考えられる。

一方、試料裏面あらさは、その凹凸の平坦化によって圧子侵入量の増加をもたらす、かたさ測定値の低下を生ずるものと思われる。板厚0.3 mm程度の非鉄金属板では、3 kgの基準荷重でこの平坦化が認められるので、このうへ試験荷重を付加してもあらさの影響はもはや著しくないものと推察できる。

なお、すべての測定値について、分散分析を行なったところ、 $|\Delta H_R T| \leq 0.3$ の範囲では、平滑なダイヤモンドアンビルとあらい超硬合金アンビルによるかたさ測定値間に、危険率1%で有意差がなく、また、 $|\Delta H_R T| \leq 0.5$ の範囲では、最小の裏面あらさの試料と、他の裏面あらさの試料のかたさ測定値間に、危険率1%で有意差が認められなかった。したがって、 $\Delta H_R T$ として、0.3および0.5の値を、それぞれアンビル表面あらさおよび試料裏面あらさの相違によって、かたさ

Fig. 14. $\Delta H_R T \sim K$ diagrams.

Fig. 15. $\Delta H_R T \sim K$ diagrams.

測定値間に統計的差異の生じない限界値とみなすことができる。

また、すべての測定値によって、

$$K = \frac{1}{H_{\max}} \cdot \frac{t}{h} \quad (1)$$

ここで、 t =試料の板厚(mm)、 h =くぼみ深さ(mm)で、かたさ測定値 $H_R T = 100 - 1000h$ より求めた値、 $H_{\max}$ =アンビル表面あるいは試料裏面のあらさ(μ)で定義した値 K を算出し、これと $\Delta H_R T$ の関係を決めると、アンビル表面あらさの場合 Fig. 14(a)…鋼板および(b)…非鉄金属板が得られ、一方、試料裏面あらさの場合、Fig. 15(a)…鋼板および(b)…非鉄金属板が得られる。すべての $\Delta H_R T$ の値は、図示の2曲線で囲まれた領域に含まれ、 K の値の増加すなわち、あらさの減少あるいは(板厚)/(くぼみ深さ)の比率の増加とともに限りなく横軸に漸近している。

Table III. Critical values K_G .

Anvils	Materials	K_G	N.B.
Metallic anvil with certain surface roughness	Steel sheet	12 (7)	$H_{\max}$ represents the roughness of anvil surface
	Brass and copper sheet	35 (10)	
Diamond anvil	Steel sheet	15 (10)	$H_{\max}$ represents the roughness of reverse surface of specimen
	Brass and copper sheet	20 (12)	

これらの図において, $\Delta H_R T$ の限界値を指定すれば, K の限界値 K_G がそれに応じて定められることになる. すなわち, アンビル表面あらさの影響については, $|\Delta H_R T| \leq 0.3$ とすると, Fig. 14 で示すとおり, 鋼板に対して $K_G \geq 12$, 非鉄金属板に対して $K_G \geq 35$ となる. また, 試料裏面あらさの影響については, $|\Delta H_R T| \leq 0.5$ とすると, Fig. 15 で示すとおり, 鋼板に対して $K_G \geq 15$, 非鉄金属板に対して $K_G \geq 20$ となる.

ここで, いずれの場合でも, 非鉄金属板に対するほうが鋼板に対するより K_G の値が大きいことは, 前者に及ぼすあらさの影響が後者に対するより著しいことを意味している.

5 結 論

以上のとおり薄板のスーパーフィシャルロックウェルかたさ測定値には, アンビル表面あらさおよび試料裏面あらさが重大な影響を与え, これらを見捨てできないことが明らかになった. そこで, ある程度のあらさのスポット部を有するアンビルで市販の金属薄板のかたさを測定する場合, もしくは, ある程度の裏面あらさを有する試料のかたさをダイヤモンドアンビルで測

定する場合において, 信頼性のある測定値を得るための一基準として, 次ぎの方式を提唱する. すなわち, (1)式の K にその限界値 K_G を代入すれば,

$$\frac{t}{h} \geq K_G H_{\max} \quad (2)$$

あるいは

$$H_{\max} \leq \frac{1}{K_G} \cdot \frac{t}{h} \quad (3)$$

の形が得られる. したがって, $H_{\max}$ あるいは t/h のいずれか一方を与えられれば, 他方の限界値を(2)式または(3)式によって定めることができる. K_G の値としては, 用途に応じて Table III の値を用いればよい. 同表中の()内の値は, 実用性を考慮し $|\Delta H_R T| \leq 1.0$ としたときのものである.

(昭和42年9月8日 第11回材料研究連合講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 吉沢武男, 黒木剛司郎, 日本機械学会論文集, **29**, 1075 (1963).
- 2) ASTM, E18-59T.
- 3) Wondris, E., u. V. Seul, Stahl u. Eisen, **80**, 356 (1960).