金属表層の硬さ試験

山 本 普*

Hardness Testing of Metallic Surface Layer

Hiroshi YAMAMOTO*

金属表層の硬さ試験において、硬さ値に影響する諸要因について解説すると共に、特に薄層の場合、重要要因となる試料の層厚と試験荷重、又、その微小くぼみの計測精度との関係などについて解説する。

1. はじめに

硬さ試験は、各種金属材料の機械的性質の評価に、研究室から現場の材質管理に至るまで広く利用されている。特に硬さの相似則（均質材料の場合、試験荷重にかかわらず硬さ値が一定となる）が成立するHV微小硬さ試験法については、その特性を生かして急速な発展が見られ、金属表層や薄片材料への適用が実施されている。

本稿は、この様な観点から表面薄層の硬さ試験に関連する諸問題、すなわち(1)各種硬さ試験の基礎的条件（図1）、(2)層厚とくぼみ深さとの関係（図2）、(3)微小化に伴うくぼみ計測精度の変化、(4)HardnesterによるSub- μm の薄膜の測定例などについて解説する。

2. 硬さ試験の基礎的条件

試料表層の硬さ試験においても、試験の基礎的条件を満足しなければならないのは当然であり、今後の進展が予測されるより薄い層（薄膜）への硬さ試験の適用についても同様である。

すなわち、各々の硬さ試験法ごとに、荷重や圧子の精度、負荷速度や時間、外部条件（温度、ふ

図1 試験荷重と圧こんの深さの関係

図2 130°くさび形圧子の押込みによるモアレ縞(中村)

* 山本科学工具研究社 社長
〒273 船橋市栄町2-15-4
☎0474-31-7451

* Yamamoto Scientific Tool Lab. Co., Ltd.,
15-4, Sakae 2-chome, Funabashi-shi, Chiba 273

ん囲気、震動)などの吟味が必要である。(図3)
一般的には、試料厚さの許容範囲内で、より大きいくぼみ(試験荷重)を選ぶことが計測誤差を小さくすることであるが、微小くぼみの計測においては個人差を極力小さくするために、顕微鏡接眼部の視度調整を厳格に行う必要があり、また同

図4 HV700における各荷重によるくぼみ読み取りの差が硬さにおよぼす影響

時に測定者間や顕微鏡間の比較を行うことも大切なことである。(図4)

また、今後さらに進展が予測される超微小硬さ試験においては、くぼみの微小化に対応すべき計測精度の向上のため、計測装置の開発、研究が強く要望されている。写真1はTV利用によるHVくぼみ自動計測装置の例を示したものである。

写真1 TV利用によるHVくぼみ自動計測装置

表1 硬さ試験機の総合誤差および、硬さ基準値の信頼限界と許容バラツキ

硬さ種別および規格	硬さ 範囲	硬さ試験機規格 (総合精度検査許容値)			硬さ基準片規格 (硬さ基準値検査時の値)		
		n	基準値と 平均値との 許容差	バラツキ の許容値	n	基準値の 信頼限界	バラツキ
ロックウェル硬さ試験機規格 (JIS B 7726) ロックウェル硬さ基準片規格 (JIS B 7730)	HR A 60以上	5	—	—	(10)	± 0.6	0.5
	HR B 60以上	5	± 1.2	1.5	(10)	± 0.8	1.0
	HR B 60未満	5	± 2.0	2.0	(10)	± 0.9	1.4
	HR C 40以上	5	± 0.8	0.8	(10)	± 0.6	0.5
	HR C 40未満	5	± 1.2	1.0	(10)	± 0.6	0.6
	HR 30N 43以上	5	± 1.5	1.5	(10)	± 1.0	1.0
	HR 30T 36以上	5	± 1.5	1.5	(10)	± 1.3	1.5
ショア硬さ試験機規格 (JIS B 7727) ショア硬さ基準片規格 (JIS B 7731)	HS 80以上	10	± 1.5	2.0	10	VHS ± 0.5 HS ± 0.8	1.5
	HS 70以下	10	± 1.5	1.5	10	± 0.4 ± 0.6	1.2
ビッカース硬さ基準片規格 (JIS B 7735) ビッカース硬さ試験機規格 (JIS B 7725)	(HVM100~800) 0.2kgf	3	± 7 %	9.0 %	(3×2)	(HV 100~800) ± 3.9~ ± 5.4	9 %
	1kgf	3	± 4 %	5.0 %	(3×2)	± 1.8~ ± 2.5 %	5 %
	(HV 100~800) 10kgf	3	± 2.5 %	2.2 %	(10)	± 0.9~ ± 1.2 %	2.2 %
	30kgf	3	± 2 %	1.5 %	(10)	± 0.6~ ± 0.8 %	1.5 %
ブリネル (JIS)	HB 225未満	3	(± 3 %)	8 %	(3×2)	± 2 %	4 %
	HB 225以上	3	(± 3 %)	4 %	(3×2)	± 1.3 %	2 %

注 1. それぞれの数値は硬さ基準片、硬さ試験機に関するJIS 規格に準拠した。
2. JISまたはISO に規定が明らかでない部分の数値は、当社試験値である。
3. 硬さ基準片検査時の基準値の信頼限界は、当社製 BL の硬さ基準値間の比較試験を行った場合、同上の値を超えることは異常と考えられる。
4. 硬さ試験機総合精度検査時の、基準値と平均値との差およびバラツキが許容値を超える場合、その試験機は直接精度検査を行う必要があると考えられる。

3. 硬さ試験機の総合精度

硬さ試験機は、基準片による総合精度検査によって、それぞれの試験機、試験方法ごとに信頼性、精度、整合性などを総合的に確めることが大切である。

表1は、JIS 硬さ試験機規格による総合精度の許容値を示したものであり、硬さ基準片の製造に際して、基準値の信頼限界およびバラツキの許容値についても表1に準じている。

4. 硬さ測定試料について

測定用試料については、試料採取（表面測定か、断面測定か）、圧延の方向性、試料保持、仕上加工、合金（めっきなどの場合）、表面粗さ、平行度、層の厚さ、測定の位置および点数などに注意する必要がある。

特に仕上加工したのち測定するものは、加工硬化しないよう十分留意することが望ましい。（一般に鉄鋼や銅合金の場合、加工硬化の程度によってはHV100位の硬さ上昇が認められる。）さらに超微小荷重領域（例えば $d = \text{数 } \mu\text{m}$ 以下）においてはマイクロ組織、表面粗さ、加工による残留応力等についても慎重な検討が必要である。

図5は、クロムめっき層の硬さ測定例を示したものであり、めっき深さ t は次式によって求められる。

$$t = K h_1 \quad (\text{実験的に } K = 9)$$

図5 硬さと深さの関係

図6 断面硬さを測定する4種類の方法（平板）

また、浸炭、浸炭窒化、高周波、火災焼入あるいは脱炭層など断面硬さ分布は図6に示す試験法によって求めることができ、斜切断法などによるときは、くぼみ深さと硬化層深さとの関係に留意すべきである。

5. くぼみ深さの推定法

一般に金属材料の硬さ試験では、対象となる試料あるいは層の厚さは、硬さ試験のくぼみ深さの10倍以上が望ましい。特に薄板や薄層の硬さを正しく測定するには、各々の層厚に見合う試験荷重を慎重に選定する必要がある。

現場的に、くぼみの深さを推定すれば下記の通りである。

- (1) HVの場合 d (対角線長) $\times \frac{1}{4}$
- (2) HKの場合 L (長対角線長) $\times \frac{1}{30.5}$
- (3) HBの場合 $t(\text{mm}) = p / \pi \cdot D \cdot \text{HB}$
例えば、HB(10/3000) 200の場合
($\div 0.48 \text{ mm}$)
- (4) HRの場合 概算

$$h(\mu\text{m}) = 2(100 - \text{HRC})$$

$$h(\mu\text{m}) = 2(130 - \text{HRB})$$

スーパーフィシャルの場合

$$h(\mu\text{m}) = 100 - \text{HRN}(\text{又はT})$$

(5) HS の場合 図 7

図 7 試料厚さのおよぼす影響の 3 つの型

図 8 SiO₂ 薄膜のハードネスターによる測定結果

表 2 ガラス基板上 SiO₂ 薄膜のハードネスターによる測定結果

TM・HV		950	900	850	800	700
試料 A 膜面	かかり初め	150 gf	150	200	200	—
		170	170		230	—
B	〃	200	200	250	300	—
			230			
C	〃	250	270	350	400	—
			300			
ABC ガラス面		かかり初め	500 gf	—	—	—

6. Hardnester による測定例

生産現場において、一般の硬さ試験が適用し難い変形部品の硬さを測定したい場合は、Hardnester による引っかかり硬さ試験が活用されているが、この Hardnester は通常の鉄鋼熱処理部品の他に、硬質クロムめっき、アルマイト等の表面層の厚さを推定する目的にも利用されている。

表 2 及び図 8 は SiO₂ 薄膜 (1000 Å 程度) への適用例について示したものである。

7. まとめ

硬さ試験は、従来から種々な方法で行われているが、これらはすべて押圧試験法であり、この結果から材料全体の機械的性質を推定するものである。

最近、金属表層の特性を求めるとか、あるいは材料が著しく薄いため、他の機械試験法の適用が困難な試料においても表面の硬さ測定が要望されている。表面の微小硬さ測定においても、従来の硬さ試験法の原則を無視して成立し難い事は言うまでもない。

読者各位においては、今後ますます進展が予測される材料の薄層化や、極表層の硬さ試験について、試験の微小化に伴う諸問題の解決に留意されるよう切望する次第である。なお、小文のため詳細については下記文献を参照されたい。

参 考 文 献

1) 吉沢武男編；硬さ試験とその応用 裳華房

2) 「工業材料の硬さ試験法」講習会テキスト，材料試験技術研究会

3) 山本普；金属，(10)，(1981)

4) Hardnester による硬さ測定例
山本科学工具研究社

5) SiO₂ 薄膜の Hardnester による硬さ測定例，山本科学工業研究社

6) 硬さ基準片カタログ，山本科学工具研究社