

第32回 硬さ試験

鈴木金属工業(株) 林 博昭

1. 硬さとは

私たちは日常生活において「硬い」とか「柔らかい」といった言葉で材料の性質を示す場合が多くある。しかし、よく考えてみると何を基準として「硬い」と「柔らかい」とを区別しているのであろうか。

例えば鉄と豆腐では、鉄の方が硬く、豆腐は柔らかいと答えるだろう。それでは、鉄の中にも硬いものと柔らかいものがあるが、どうしたらわかるかと問われたらどう答えるであろうか。

「硬さを調べる」という人もいるであろう。ところが、硬さの物理的な定義はあいまいで、硬さは材料固有の物理的性質ではなく、ある試験方法によって決められる工業量である。これまで、多くの人々がその試験方法を考えてきた。大きく分けると、何か硬球のようなものを当てて、

1. その時生じるくぼみの大きさを測定するもの
 2. そのときの跳ね返った量を測定するもの
- とがある。前者を押し込み硬さ試験法、後者を動的硬さ試験法という。これら以外にも古くから行われている試験法で、引っ搔いて硬さを調べる引っ搔き硬さ試験法という方法もある。

材料の強度を評価するには、通常、引張試験が用いられるが、硬さ試験も有用な方法である。引張試験が材料全体の平均的な強度を測定するのに対し、硬さ試験は局所的な材料強度を評価できる点に特徴がある。また、試験片の加工が不要であり、引張試験が適用できない複雑な形状の製品、あるいは微小な製品、破壊した部品、加工あるいは表面処理により材料強度が不均一な製品あるいは部材についての強度評価は、硬さ試験でなければ不可能とあって良い。最近ではナノインデンターと呼ばれるnmオーダーの微小領域の測定を行う試験機も開発されており、従来得られなかった金属組織の情報も得られるようになってきている。

2. 硬さ試験機の種類



2.1 ビッカース硬さ

試験片に四角すいのダイヤモンド圧子を押し込み、そのときできたくぼみの対角線の長さを顕微鏡で測定し、その断面積を求める。以前のJISでは、試験荷重の大きさにより微小硬さ試験とビッカース硬さ試験と分かれていたが、現在ではビッカース硬さ試験一つに統一されている。

2.2 ヌーブ硬さ

ビッカース硬さと同じ試験方法を用いるが、圧子の形状

表1 ビッカース硬さとヌーブ硬さの原理比較

硬さ試験の名称と記号	圧子の形状	くぼみの形と大きさ	硬さ値の求め方
ビッカース硬さ HV	正四角すい圧子 対面角 $\theta = 136^\circ$		$HV = \frac{\text{試験荷重}}{\text{くぼみの表面積}} = \frac{F}{\frac{d^2}{2\sin(\theta/2)}}$
ヌーブ硬さ HK	底面が菱形の 四角すい圧子 りょう角 $\alpha = 172.5^\circ$ $\beta = 130^\circ$		$HK = \frac{\text{試験荷重}}{\text{くぼみの投影面積}} = \frac{F}{\frac{l^2 \tan(\beta/2)}{2 \tan(\alpha/2)}}$

が四角すいではなく、りょう(稜)角が172.5度と130度の底面が細長い菱形ダイヤモンド四角すいである。表1にビッカース硬さとヌーブ硬さの原理比較を示す。めっき層など薄い部分の硬さ測定に便利である。

2.3 ロックウェル硬さ

試験片にダイヤモンド、硬球あるいは超硬合金球圧子を押し込み、このときのくぼみを測定する。記号はHRを用い、圧子の種類によりA~Kまで区別がなされ、HRCのように表示される。

2.4 プリネル硬さ

ロックウェル硬さ試験と同じく鋼球圧子を押し込むものであり、くぼみが大きく平均的な硬さを得やすいが、圧痕径が大きいため、冷間成形ばねではあまり用いられない。

2.5 ショア硬さ

ダイヤモンドを先端につけたハンマーを一定の高さから試験片に落下させ、ハンマーの跳ね返り高さを測定する。試験片に傷を付けることがなく、圧延ロールや石材の硬さ測定では、欠かすことの出来ない測定法である。しかし、被測定物の大きさがハンマーの質量より十分に大きくなければいけないので、微細部品の測定には適していない。

表2にJISに規定されている硬さ試験方法の一覧を、図1~4に各種硬さ試験機の原理図を示す。

表2 JISに規定されている硬さ試験方法

試験方法	規格番号	硬さ記号
プリネル硬さ試験	Z 2243	HB
ビッカース硬さ試験	Z 2244	HV
ロックウェル硬さ試験	Z 2245	HR
ショア硬さ試験	Z 2246	HS
ヌーブ硬さ試験	Z 2251	HK

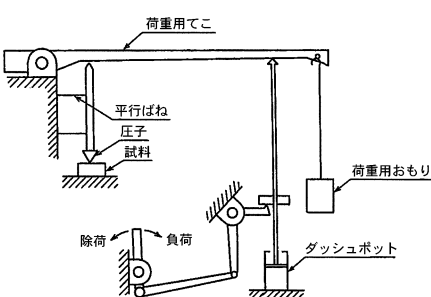


図1 ビッカース硬さ試験機の機構

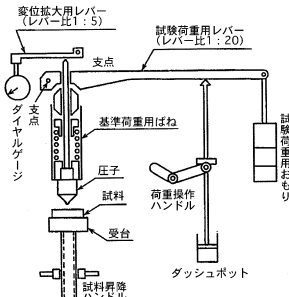


図2 ロックウェル硬さ試験機の機構

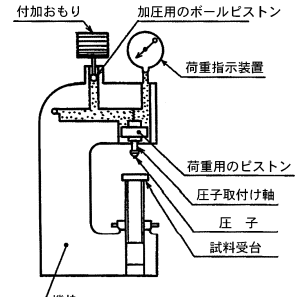


図3 プリネル硬さ試験機の構造

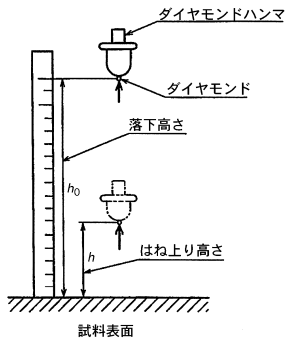


図4 ショア硬さ試験の原理

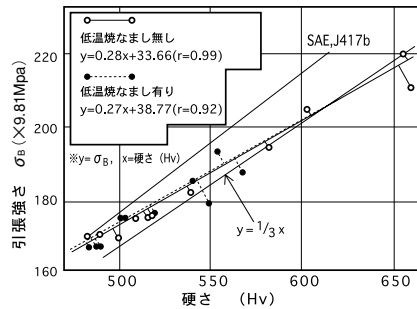


図5 オイルテンパー線で作られた冷間成形ばねの硬さと引張強さの関係

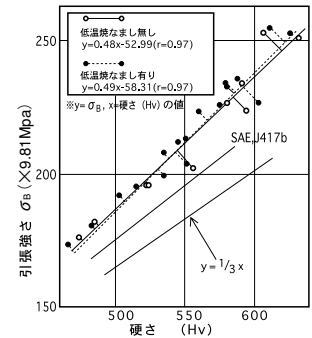


図6 硬引き鋼線で作られた冷間成形ばねの硬さと引張強さの関係

3. 引張強さとの関係

ばね材料特に冷間成形ばね材料の強度は、引張強さで規定されていることが多く、ばねの設計応力も引張強さを基準にしている。したがって、硬さから引張強さが換算できると好都合であり、一般的な大まかな推定値としては、次のような換算式が提言されている。

$$\text{引張強さ (MPa)} \approx 3.27\text{HV} \approx 20 \sim 29\text{HRC} \approx 32 \sim 38\text{HRC}$$

またHB, HS, HRC, HVの値の相関は、だいたい目安だけであれば下記ようになる。

$$\text{HV} \approx \text{HB}, \text{HS} \approx \text{HB}/10+12, \text{HS} \approx \text{HRC}+15$$

しかし、この換算式は全ての材料に当てはまるわけではなく、焼入焼戻し材にのみ適用できることに留意しなければならない。なぜだろうか。

押し込み硬さ試験法にて、圧子を押し込みくぼみの大きさを測るということは、塑性加工を行いその変形抵抗を調べているということである。この時、どの程度の塑性ひずみを与えているかを考えると、0.2%耐力以上かつ引張強さ未達の塑性ひずみ範囲と考えられ、どちらに近いかはその材料の加工硬化特性に左右されるものと考えられる。したがって、似たような加工硬化特性を持つ材料では、硬さと0.2%耐力、硬さと張強さの間に相関が成り立つ。しかし、加工硬化特性が異なる材料の場合には、これらの比率が崩れ、上記の換算式が適用できなくなる。図5にオイルテンパー線によるばねと素材の硬さの関係を、図6にピアノ線・硬鋼線によるばねと素材の硬さの関係を示す。オイルテンパー線で成立した引張強さ(MPa) $\approx 3.27\text{HV}$ が硬引鋼線では成り立っていない。ステンレス鋼線の場合も同様である。

4. 硬さ試験における注意点

硬さ試験における注意点は、各試験方法によって異なる。ここでは冷間成形ばねでは、最も一般的なピッカース硬さ試験についての注意点にとどめる。

4.1 最小の試料の大きさ・厚さ

既に作られたくぼみのすぐ近くに押し込み硬さ試験を行うと、基の試料の硬さと異なった値を示す。1個のくぼみを作るのに必要な広さは、くぼみ対角線長さの約5倍、厚さはくぼみ深さの10倍以上が必要である。図7に試料の硬さと試験荷重により、必要な試料厚さおよびくぼみの対角線長さを求めるモノグラフを示す。

4.2 試料条件 負荷速度と保持時間

押し込み硬さは塑性変形を伴うので、負荷速度と荷重保持時間の影響を受ける。前者は変形速度依存性、後者は一種のクリープ効果である。試料が硬いほど、負荷速度

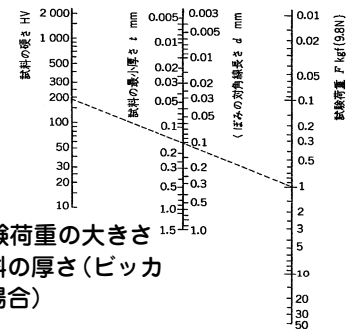


図7 試料の硬さ・試験荷重の大きさと試験可能な試料の厚さ(ピッカース硬さ試験の場合)

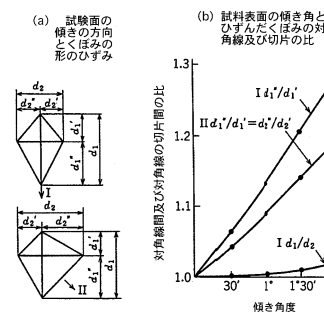


図8 ピッカース硬さ試験 試料傾斜の影響

の影響が大きく、また試料が軟らかいほど荷重保持時間の効果が大きい。負荷速度は試験機の仕様で決まっており、普通は規定の10~30 $\mu\text{m/s}$ に入っているはずである。荷重保持時間は普通15秒を標準としているが、硬い材料の場合は10秒でもよい。

4.3 面粗さ・平面性の影響

微小硬さ試験(マイクロ・ピッカース硬さ試験)におけるくぼみの深さは10 μm 以下なので、表面仕上げの影響は大きく、加工変質層のないように留意し、鏡面仕上げが望ましい。図8に示すように、測定面は傾き角が2度を超えると、くぼみの変形が著しくなり、硬さ値に明らかな違いを与える。

4.4 硬さ試験機の管理

引張試験同様、硬さ試験も試験機の管理が大切で、なるべく年1回の検定を受けることが望ましい。ピッカース硬さの場合、くぼみの長さ測定において、測定のばらつきだけでなく、読み取りの個人差がしばしば問題となる。特に小さい荷重で硬い試料の場合には、誤差が大きくなる。このような誤差をなくす方法としては、硬さ基準片による目合わせが有効である。定期検査の間でも試験機は変動しているし、測定者側も基準がずれる可能性がある。毎日あるいは週一回始業時に硬さ基準片を用いた試験を行って、その結果をX-R管理図にして管理するとよい。