

硬さに及ぼす表面油膜の影響

森元時夫

奈良教育大学生生活科学教育講座(技術教育専修, 機械)

(平成17年5月6日受理)

Influence of Lubricant Film on Surface Hardness

MORIMOTO Tokio

(Department of Humanlife Science, Technology Education, Nara University of Education, Nara 630-8528, Japan)

(Received May 6, 2005)

Abstract

In general, surface should be cleaned when measuring surface hardness. The relationship between hardness and surface uncleanness, however, has scarcely been researched. In the present study, the influence of uncleanness on the hardness of carbon steel is investigated; the Vickers hardness of a cleaned surface is compared with that of a surface lubricated with liquid paraffin and/or liquid paraffin containing 3 % oleic acid, and then discussed. An unclean surface was found to have a detectable influence on hardness, for example, the hardness of semi-hardened steel, JIS-S45C of 205 Hv for a clean surface decreased to 187 Hv when lubricated with liquid paraffin.

Key Words : Vickers hardness, carbon steel, clean surface, lubricated surface, liquid paraffin

キーワード : ビッカース硬さ, 炭素鋼
清浄面, 潤滑面, 流動パラフィン

1. はじめに

機械構成部分としての金属材料には破壊や変形に対する抵抗性, すなわち強さ, 韌性, 硬さ等が必要であり, またその機械部品の形状, 寸法に加工するためには延性が必要とされる。したがって, 金属材料の諸性質のうち, 強さ, 延性, 韌性, 硬さなどの機械的性質が非常に重要となる。金属材料の機械的性質を測定する方法を一般に材料試験といい, 主なものはJISでその方法が規定されている。材料試験には, 引張試験, 衝撃試験, 硬さ試験, 圧縮試験, 曲げ試験, 疲れ試験, クリーブ試験などがあり, その代表的なものは引張試験である。しかし, 引張試験は試験装置が大掛りであり, 試験片作製がやや面倒といった点から, 引張試験に代わるものとして, 硬さ試験が多く行われている。

硬さとは, 一般に硬い物体を材料に押し付けたときの変形に対する抵抗をいい, 材料の変形抵抗の大小を示すという点で引張強さと関連性があり, 特に鉄鋼材料では, 硬さと引張強さとの関係(ほぼ比例関係)が求められている。

硬さ試験は押し込み式と反発式に大別され, 特に前者が多く用いられている。押し込み硬さには, 鋼球(標準として直径10mmの軸受け鋼球)を圧子として用いるブリネル硬さ(Brinell hardness) HB, 正四角すいのダイヤモンド圧子を用いるビッカース硬さ(Vicker's hardness) Hv, 鋼球または円錐のダイヤモンド圧子を用いるロックウェル硬さ(Rockwell hardness) HRの3種類がJISに規定されており, いずれも圧子に力を加えて押し込み, 試験片に生じたくぼみの大きさから硬さを求める。反発硬さとしてはショア硬さ(Shore hardness)

が規定されており、先端にダイヤモンドをつけた錘を一定の高さから落とし、その跳ね上がり高さから求める。鉄鋼材料に関しては、実験的にこれら4つの硬さの相互の関係も求められている。

いずれの硬さ試験においても、試料寸法、表面状態について述べられており、試料面には、油や酸化物などの異物があるてはならないとされている。押し込み硬さ試験においては、試料面に進入する圧子と塑性変形していく試料との接触界面における摩擦が試料表面に形成されるくぼみの大きさに影響すると考えられる。しかしながら、押し込み硬さ試験におけるくぼみ形成時の塑性変形は、通常の塑性加工時における塑性変形に比べると極く微小で（たとえば本研究におけるくぼみ深さは5～6 μm 程度）、接触界面の摩擦の影響もそれほど大きくないとも考えられる。いずれにしても、試料表面の汚れや汚れ膜あるいは油膜の硬さに及ぼす直接的影響についての研究報告は殆ど見あたらない。本研究では積極的に試料表面に油膜を介在させ、圧子と試料面との接触界面を潤滑した時の硬さと通常の方法に基づいた硬さとを比較検討して、その影響について検討した。

2. 実験方法および実験装置

2. 1. ビッカース硬さ試験

本研究ではビッカース硬さ試験により硬さを測定した。その原理は、正四角錐のダイヤモンド圧子を、試料の表面に押し込み、その試験力を解除した後、表面に残ったくぼみの対角線長さを測定する。ビッカース硬さは、試験力を底面が正方形で、対面角が圧子の角度と同じ四角錐と仮定したときのくぼみの表面積で除した値に比例する。ビッカース硬さとは、対面角が136度のダイヤモンド四角錐圧子を用い、試料面にくぼみをつけたときの試験力とくぼみの表面積とから求めた値である。対面角136度はブリネル硬さと関連している。球を押し込むブリネル硬さ試験において、試料表面に生じるくぼみ直径は通常(0.5～0.25)D(Dは球圧子の直径)となり、平均0.375Dとなる。大円において、0.375Dなる弦の両端における円に接する2直線のなす角度はほぼ136度となる⁽¹⁾。両者のこのような関係により、これら2つの硬さはほぼ同じような値となる。

ビッカース硬さHVは具体的には次の式により算出される。

$$\begin{aligned} H_v &= kF/S \\ &= 0.102 \cdot F/S \\ &= 0.102 \times 2 \cdot F \cdot \sin(\alpha/2) / d^2 \\ &= 0.1891 \cdot F / d^2 \end{aligned}$$

ここに、k：定数、 $k=1/9.80665=0.102$

F：試験力(N)、

S：くぼみの表面積(mm^2)

d：くぼみの2方向の対角線長さの平均(mm)

α ：ダイヤモンド圧子の対面角(136°)

なお、定数kはSI単位切り替え以前に用いられていた硬さ(押し込み荷重kgをくぼみの表面積で除した値)に準拠するためである。

実験に用いた微小硬さ試験機は鳥津製作所HM-102で、試験力は0.98Nおよび1.96Nとした。

2. 2. 硬さ試験試料および潤滑油剤

硬さ測定試料材質は最も一般的な鉄鋼材料とし、購入状態での使用を考え、硬さが異なるように、一般に軟鋼、半軟鋼、および半硬鋼と考えられている、次の3種類を用いた。

JIS-SS400(一般圧延用鋼材)

JIS-S25C(機械構造用炭素鋼, 0.22～0.28C)

JIS-S45C(機械構造用炭素鋼, 0.42～0.48C)

直径20mmの丸棒を長さ15～20mmに切断し、端面を旋削仕上げした後、5～6段階のペーパー研磨後、バフ研磨を行い鏡面に仕上げた。

試料は各3種類の鋼材について、それぞれ10個作製した。

測定は、同一試料について、次の3種類の条件下で、5回繰り返した。

- (1) アセトンを用いて清浄とした状態：清浄と表示する。
- (2) 流動パラフィンで薄く塗布した状態：潤滑Iと表示する。
- (3) 流動パラフィンにオレイン酸3%添加した油剤を塗布した状態：潤滑IIと表示する。

ここで添加剤として用いた不飽和脂肪酸のオレイン酸は、潤滑がかなり過酷となった境界潤滑状態において、金属石鹸を生成し良好な潤滑を可能とする代表的な添加剤の一つである。

3. 実験結果および考察

3種類の鋼材について、各条件下で測定した硬さとその標準偏差を表1に示す。各硬さ値は上述のように50個の測定値の平均値である。硬さは本質的にばらつくもので、特にビッカース硬さなどの微小硬さは、くぼみ圧痕が小さいため、試料組織、結晶粒の大きさ、結晶粒界、粒内等の影響を受けやすく、その傾向が強い。参考のために、くぼみの大きさを硬さ(144Hv, 試験力0.98N)より求めると、くぼみ対角線の長さdは約36 μm (深さtは約5 μm)となり、通常の結晶粒の大きさより小さい。本実験結果では鋼材SS400, 試験力1.96N, 潤滑I

の場合にややばらつきが見られるが、それ以外ではばらつきは非常に小さい。

2つの試験力と硬さとの関連について、たとえば鋼材SS400、潤滑Ⅰの場合について、問題差を硬さ3として、2つの平均値の硬さ(142, 144)の差の検定⁽²⁾(v検定, 有意水準5%)によると、差は無いと判定された。一般にビッカース硬さは試験力の大きさには影響されないとされており、本実験結果も試験力による差は無いとみなせる。よって以下では、試験力0.98Nの場合について述べる。

表1の試験力0.98Nの場合について、図示した結果を図1に示す。いずれの試料材質においても、潤滑による硬さの減少は認められるが、潤滑Ⅰと潤滑Ⅱにおける硬さはほぼ等しい。これは、前述のようにくぼみ深さは約5μmと微小で、相対変位が少なく、脂肪酸の効果が発揮されなかったためと考えられる。清浄と潤滑Ⅰにおける硬さを比較すると、SS400では7.8%、S25Cでは5.5%、S45Cでは8.9%と減少している。圧子材質はダイヤモンドであり、摩擦は本来小さく、それほど潤滑の影響を受けないとも考えられるが、実際には少なからず影響を受

けることがわかった。

くぼみ生成時の圧子と試料との接触界面において、一様な面圧pと一様な摩擦が作用しその摩擦係数をμと仮定して、試験力Fとの釣り合い関係を求めると、くぼみ四角錐底面への投影面積と面圧との積、および底面に垂直な面への投影面積と摩擦抵抗との積の和で表され、次のようになる。

$$F = p \cdot d^2 \{ (1 + \mu \cot(\alpha/2)) \} / 2$$

ここで、面圧pは材料固有の降伏圧力(yield pressure)あるいは流れ圧力^{(3),(4)}に相当すると考えられるが、具体的数値を特定するのは困難である。いま、pを硬さと同程度の150kgf/mm²(1470N/mm²)と仮定して、試料SS400、試験力0.98N、硬さHv154にたいして、上式の関係から摩擦係数を求めると、0.26、Hv142に対して、0.05となる。ただし、上式は理想的な接触状態に対して、釣り合い関係からだけで導いた式で、角すい頂点や角すいの稜の影響などは考慮されていない。

表1 各種条件下におけるビッカース硬さ

(a) SS400

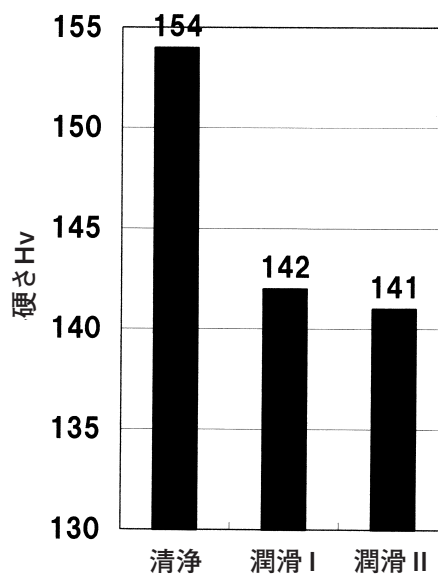
	試験力0.98N		試験力1.96N	
	硬さHv	標準偏差	硬さHv	標準偏差
清浄	154	1.1	152	0.5
潤滑Ⅰ	142	1.8	144	2.8
潤滑Ⅱ	141	0.6	142	0.5

(b) S25C

	試験力0.98N		試験力1.96N	
	硬さHv	標準偏差	硬さHv	標準偏差
清浄	165	0.5	165	1.2
潤滑Ⅰ	156	1.4	157	1.1
潤滑Ⅱ	154	1.2	156	0.6

(b) S45C

	試験力0.98N		試験力1.96N	
	硬さHv	標準偏差	硬さHv	標準偏差
清浄	205	0.6	204	1.5
潤滑Ⅰ	187	0.8	190	1.3
潤滑Ⅱ	187	0.58	187	0.5



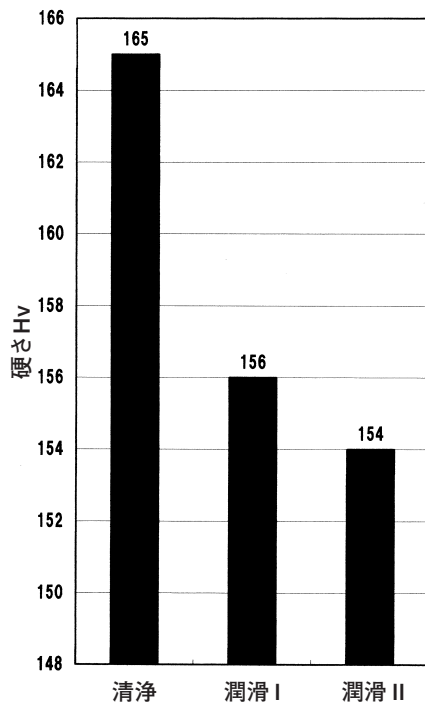
(a) SS400

図1. 硬さに及ぼす油剤の影響

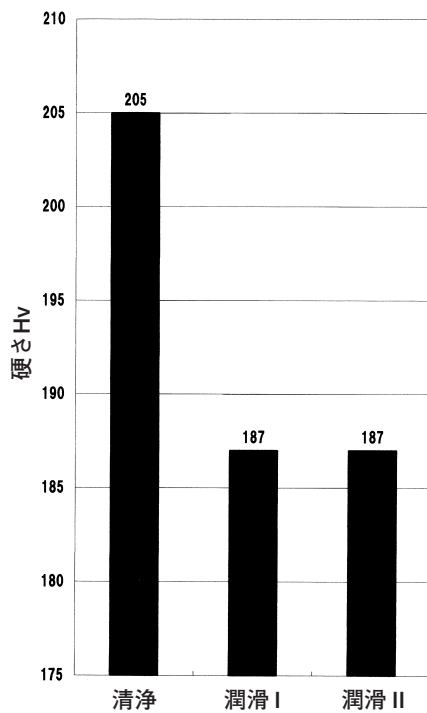
4. 結論

鉄鋼材料の硬さ測定に及ぼす測定面の油膜の影響について実験的に検討した。すなわち、軟鋼：SS400、半軟鋼：S25C、半硬鋼S45Cのビッカース硬さを、清浄な状態、流動パラフィンで潤滑した状態、オレイン酸3%添加した流動パラフィンで潤滑した状態で測定して、以下のことを明らかにした。

- (1) ビッカース硬さに及ぼす試験力の影響を試験力0.98Nおよび1.96Nで測定比較した結果、いずれの試料、条件下でも、その影響は見られない。
- (2) 清浄な状態と、流動パラフィンで潤滑した状態における硬さは、SS400で、154、142と約8%、S25Cで、165、156と約6%、S45Cで、205、187と約9%減少する。
- (3) 流動パラフィンにオレイン酸3%添加した影響は見られない。
- (4) ビッカース硬さ測定においては、測定面をアセトンなどの揮発油で清浄にする必要がある。



(b) S25C



(c) S45C

参考文献

- (1) Tabor, The hardness of metals, p98, (1951), Clarendon Press
- (2) 東洋レーヨン品質管理委員会, ステップ式による統計的方法(上), p132, 昭和42年, 日本科学技術連盟
- (3) 曾田範宗(訳) 固体の摩擦と潤滑, (Bowden & Tabor, The friction and lubrication of solids, 1954, Oxford), p11, 昭和39年, 丸善,
- (4) 木村好次, 岡部平八郎, トライボロジー概論, p27, 1992, 養賢堂.

図1. 硬さに及ぼす油剤の影響