

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4956834号  
(P4956834)

(45) 発行日 平成24年6月20日 (2012.6.20)

(24) 登録日 平成24年3月30日 (2012.3.30)

(51) Int.Cl. F I  
**GO 1 N 3/42 (2006.01)** GO 1 N 3/42 Z

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-112057 (P2007-112057)	(73) 特許権者	301023238 独立行政法人物質・材料研究機構
(22) 出願日	平成19年4月20日 (2007.4.20)		茨城県つくば市千現一丁目2番地1
(65) 公開番号	特開2008-268022 (P2008-268022A)	(73) 特許権者	507131056
(43) 公開日	平成20年11月6日 (2008.11.6)		株式会社山本科学工具研究社
審査請求日	平成22年3月31日 (2010.3.31)		千葉県船橋市栄町2丁目15番4号
		(74) 代理人	100067448 弁理士 下坂 スミ子
		(74) 代理人	100065709 弁理士 松田 三夫
		(74) 代理人	100129469 弁理士 池山 和生
		(72) 発明者	官原 健介 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立 行政法人物質・材料研究機構内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 硬さ試験方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

錐形状の圧子を試料に押圧して、押込み荷重及びくぼみ深さを計測する押込み工程と、

上記くぼみ深さから等価くぼみ深さ ( $h_e$ ) を算出する工程と、  
 上記等価くぼみ深さから上記試料の硬さ ( $H_E$ ) を算出する工程とを備え、  
 上記押込み工程は、  
 基準荷重 ( $P_0$ ) におけるくぼみ深さ ( $h_1$ ) を計測する工程と、  
 荷重を試験荷重 ( $P$ ) に増加する工程と、  
 上記基準荷重 ( $P_0$ ) に戻したときのくぼみ深さ ( $h_2$ ) を計測する工程とを有し

10

、  
 上記等価くぼみ深さ ( $h_e$ ) は、次の式 (1) 及び (2) によって算出するものであって、

上記試料の硬さ ( $H_E$ ) は、上記基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比 ( $r = P_0 / P$ ) が同一の条件において、上記等価くぼみ深さ ( $h_e$ ) を変数とする単純増加関数または単純減少関数として算出する

ことを特徴とする硬さ試験方法。

$$\text{式 (1) : } h = h_2 - h_1$$

$$\text{式 (2) : } h_e = h / P^{1/2}$$

【請求項2】

20

錐形状の圧子を試料に押圧して、連続的に押し込み荷重及びくぼみ深さを計測する押し込み工程と、

上記くぼみ深さから等価くぼみ深さ ( $h_e$ ) を算出する工程と、

上記等価くぼみ深さから上記試料の硬さ ( $H_E$ ) を算出する工程とを備え、

上記押し込み工程は、

無荷重状態から試験荷重 ( $P$ ) に荷重を増加する負荷工程と、

上記試験荷重 ( $P$ ) から荷重を上記無荷重状態に戻す除荷工程とを有し、

上記等価くぼみ深さ ( $h_e$ ) は、

上記負荷工程及び除荷工程におけるくぼみ深さであって、同一の基準荷重 ( $P_0$ ) におけるそれぞれのくぼみ深さ  $h_1$ 、 $h_2$  を求め、次いで式 (1) 及び (2) によって算出するものであって、

上記試料の硬さ ( $H_E$ ) は、上記基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比 ( $r = P_0 / P$ ) が同一の条件において、上記等価くぼみ深さ ( $h_e$ ) を変数とする単純増加関数または単純減少関数として算出する

ことを特徴とする硬さ試験方法。

$$\text{式 (1)} : h = h_2 - h_1$$

$$\text{式 (2)} : h_e = h / P^{1/2}$$

### 【請求項 3】

請求項 1 または 2 のいずれかにおいて、上記  $r$  が異なる場合の上記  $h$  に、次の式 (3) によって換算する工程を含むことを特徴とする硬さ試験方法。

$$\text{式 (3)} : h_B = h_A \times (1 - r_B^{1/2}) / (1 - r_A^{1/2})$$

ここで  $h_A$  は、上記  $r$  が  $r_A$  の場合の上記  $h$ 、

$h_B$  は、上記  $r$  が  $r_B$  の場合の上記  $h$  を意味する。

### 【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれかの 1 において、上記試料の硬さ ( $H_E$ ) は、次の式 (4) ~ (6) のいずれかの 1 によって算出する

ことを特徴とする硬さ試験方法。

$$\text{式 (4)} : H_E = K_1 - K_2 \cdot h_e$$

$$\text{式 (5)} : H_E = K_1 + K_2 \cdot (h_e)^{-1}$$

$$\text{式 (6)} : H_E = K_1 + K_2 \cdot (h_e)^{-2}$$

ここで  $K_1$  及び  $K_2$  は、定数。

### 【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれかの 1 において、上記錐形状の圧子は、四角錐、三角錐、円錐、または菱形錐のいずれかの 1 の形状からなる

ことを特徴とする硬さ試験方法。

### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、金属等の硬さを計測する方法に関し、特に基準荷重を用い、かつ硬さの相似則を満たす硬さ試験方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

従来から材料、特に金属材料の強度評価には、各種の硬さ試験方法が広く用いられている。これらの硬さ試験方法の代表的なものとしては、ブリネル硬さ試験方法、ビッカース硬さ試験方法、ロックウェル硬さ試験方法、計装化押し込み硬さ試験方法、及びショア硬さ試験方法等がある。

#### 【0003】

このうちブリネル硬さ試験方法は、鋳造合金等の硬さの評価に用いられており、直径 10 mm あるいは 5 mm 等の硬球 (鋼球又は超硬合金球) からなる圧子を、押し込み荷重  $F$  を掛けて試料表面に押し込んで永久くぼみを形成し、この押し込み荷重  $F$  を永久くぼみの表面積で除

10

20

30

40

50

した値を、ブリネル硬さ（HBW等）としている。またピッカース硬さ試験方法は、浸炭や窒化等の表面処理を行なった鋼等の硬さの評価に用いられており、対面角が136度のダイヤモンド四角錐からなる圧子を、押圧荷重Fを掛けて試料表面に押し込んで永久くぼみを形成し、この押圧荷重Fを永久くぼみの表面積で除した値を、ピッカース硬さ（HV）としている。

【0004】

またロックウェル硬さ試験方法は、熱処理した鋼等の硬さの評価に用いられているCスケール、あるいは非金属材料等の硬さの評価に用いられているBスケール等があるが、いずれも圧子を、基準荷重 $P_0$ をかけて試料に押し込んで、くぼみ深さ $h_1$ を計測し、さらに試験荷重Pを掛け、次いで基準荷重 $P_0$ に戻して再度くぼみ深さ $h_2$ を計測する。次いで後半の基準荷重 $P_0$ におけるくぼみ深さ $h_2$ から、前半の基準荷重 $P_0$ におけるくぼみ深さ $h_1$ を引いて、両者の差hを求める。そして所定の定数から、上記くぼみ深さの差hに比例定数を乗じたものを引いた値を、ロックウェルCスケール硬さ（HRC）またはロックウェルBスケール硬さ（HRB）等としている。

10

【0005】

計装化押し込み硬さ試験方法は、マクロ領域からナノ領域をカバーするものとして期待されており、それぞれダイヤモンド製のピッカース圧子、バーコピッチ圧子、あるいは球形圧子等を用いて、押し込みによる荷重とくぼみ深さとの双方を連続的に計測し、この連続データから試料の硬さを求めるものである。具体的には試験荷重を圧子の侵入した表面積で除した、マルテンス硬さ（HM）、及び最大荷重を、この最大荷重を掛けたときに圧子が試料に接触している部分の断面積で除した、押し込み硬さ（ $H_{IT}$ ）等を求めている。

20

【0006】

ショア硬さ試験方法は、圧延ロール等の硬さの評価に用いられており、ある高さから圧子を試料の表面に落して衝突させ、跳ね返り高さを計測する。そしてこの跳ね返り高さと同落下高さとの比に、比例定数を掛けてショア硬さ（HS）を求める。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで硬さ試験方法においては、硬さの測定が簡便であること、一定の定義に基づいて試料の硬軟の序列を判断できること、及び試験荷重の大小に関わらず硬さの評価値が同じになる、いわゆる硬さの相似則が成立すること、及び硬さ試験機自体の撓み（フレームコンプライアンス）の影響を受けないこと等が、強く求められる。しかるに上述した各種の硬さ試験方法は、それぞれ優れた特徴を有しているものの、次のような改善すべき問題点がある。

30

【0008】

すなわちブリネル硬さ試験方法は、硬球からなる圧子を試料表面に押し込んで形成される永久くぼみの表面積が、押し込み荷重と比例しないので、一般には硬さの相似則が成立しない。したがって同じ硬球圧子を用いる場合、押し込み荷重が変化すると、試料の硬さの評価値が相違してしまう。またブリネル硬さ試験方法では、永久くぼみの表面積を求めるために、この永久くぼみの大きさ（開口径）を光学的顕微鏡等によって求めなければならないため、ナノ領域においては正確な測定が困難となる。また試料の表面層の状態に影響を受け易い。

40

【0009】

ピッカース硬さ試験方法は、四角錐からなる圧子を試料表面に押し込んで形成される永久くぼみの表面積が、押し込み荷重と比例するため、いわゆる硬さの相似則が成立する。よって荷重の大小に関わらず、試料の硬さについて同一の評価値が得られる。しかし、上記ブリネル硬さ試験方法と同様に、永久くぼみの大きさを光学的顕微鏡等によって求めなければならないため、くぼみ深さが小さくなると測定が困難であり、また試料の表面層の状態に影響を受け易い。

【0010】

50

ロックウェル硬さ試験方法は、試験荷重  $P$  を掛ける前後の、基準荷重  $P_0$  におけるくぼみ深さ  $h_1$ 、 $h_2$  の差  $h$  を基に、硬さを判定するため、くぼみの開口部の大きさの計測を必要とせず、また試料の表面の粗さや酸化皮膜等といった表面層の状態の影響を受け難い。さらにくぼみ深さ  $h_1$ 、 $h_2$  の計測は、いずれも同一の基準荷重  $P_0$  を掛けた状態で計測するため、いわゆる硬さ試験機のフレームコンプライアンスの影響が相殺され、これによる誤差が回避できる。しかし硬さの評価を、試験荷重  $P$  を含まない、くぼみ深さの差  $h$  だけの一次関数として算出しているため、硬さの相似則が成立しない。このため押込荷重  $P$  が変化すると、試料の硬さの評価値が相違してしまう。

【 0 0 1 1 】

計装化押込み硬さ試験方法は、ナノ領域における測定も可能にするものであるが、ナノ領域においては、試験表面位置の検出が難しく、また圧子先端形状の不完全さによる影響も大きく、一方マクロ領域においては、荷重負荷時の試験機のフレームコンプライアンスによる誤差が大きいため、いずれも各種の標準試料による複雑な較正が必要になる。

10

【 0 0 1 2 】

そこで本発明の目的は、基準荷重を用いると共に、硬さの相似則を満たし、マクロ領域からナノ領域まで適用できる簡便な硬さ試験方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

上記課題を解決すべく本願発明者は、従来の硬さ試験方法の1つであるロックウェル硬さ試験の原理を発展させ、基準荷重（初試験力） $P_0$  と試験荷重  $P$  との比を一定とし、この試験荷重  $P$  前後の基準荷重  $P_0$  において計測したくぼみ深さ  $h_1$ 、 $h_2$  の差  $h$  に、試験荷重  $P$  の平方根の逆数  $P^{-1/2}$  を乗じた等価くぼみ深さ  $h_e$  が、荷重の大小に影響を受けなくぼみ深さの指標となることを、試験によって確認した。したがって試料の硬さを、この等価くぼみ深さ  $h_e$  の関数として表わせば、基準荷重方式においても、いわゆる硬さの相似則を満足することを見出した。

20

【 0 0 1 4 】

すなわち本発明による硬さ試験方法の特徴は、錐形状の圧子を試料に押圧して、押込み荷重及びくぼみ深さを計測する押込み工程と、上記くぼみ深さから等価くぼみ深さ  $h_e$  を算出する工程と、上記等価くぼみ深さから上記試料の硬さ  $H_E$  を算出する工程とを備えていることにある。上記押込み工程は、基準荷重  $P_0$  におけるくぼみ深さ  $h_1$  を計測する工程と、荷重を試験荷重  $P$  に増加する工程と、上記基準荷重  $P_0$  に戻したときのくぼみ深さ  $h_2$  を計測する工程とを有している。上記等価くぼみ深さ  $h_e$  は、次の式（1）及び（2）によって算出するものであって、上記試料の硬さ（ $H_E$ ）は、上記基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比（ $r = P_0 / P$ ）が同一条件において、上記等価くぼみ深さ  $h_e$  を変数とする単純増加関数または単純減少関数として算出する。

30

$$\text{式(1)}: h = h_2 - h_1$$

$$\text{式(2)}: h_e = h / P^{1/2}$$

【 0 0 1 5 】

このように発明を構成すれば、まず基準荷重方式の採用によって、硬さ試験機のフレームコンプライアンスの影響を回避できると共に、試料の表面状態の影響を受け難くなる。またくぼみ深さと、押込み試験とを計測すれば足りるため、くぼみの大きさを光学的に計測する必要がなくなる。さらに基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比（ $r = P_0 / P$ ）さえ同一にしておけば、いわゆる硬さの相似則が成立するため、試験荷重  $P$  が異なっても、同一の硬さの評価値が得られる。

40

【 0 0 1 6 】

なお硬さ試験機は、従来のロックウェル硬さ試験機、及びロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機等を使用することができるが、厳密な硬さの相似則を得るためには、先端を球面状に形成していない円錐形状の圧子を使用することが必要である。またここで「等価くぼみ深さ（ $h_e$ ）を変数とする単純増加関数または単純減少関数」とは、等価くぼみ深さ  $h_e$  の増加に伴って増加する関数、またはこの  $h_e$  の減少に伴って減少する関数

50

を意味し、 $h_e$ の一次関数に限らず、二次以上の関数も含む。

【0017】

本発明による硬さ試験方法の他の特徴は、計装化押し込み硬さ試験機のように、押し込み荷重とくぼみ深さとの双方を、連続的に計測する硬さ試験方法に、基準荷重方式を取り入れると共に、硬さの相似則を成立させることにある。

【0018】

すなわちこの特徴は、錐形状の圧子を試料に押し込んで、連続的に押し込み荷重及びくぼみ深さを計測する押し込み工程と、上記くぼみ深さから等価くぼみ深さ $h_e$ を算出する工程と、上記等価くぼみ深さから上記試料の硬さ $H_E$ を算出する工程とを備えている。上記押し込み工程は、無荷重状態から試験荷重 $P$ に荷重を増加する負荷工程と、上記試験荷重 $P$ から荷重を上記無荷重状態に戻す除荷工程とを有している。上記等価くぼみ深さ $h_e$ は、上記負荷工程及び除荷工程におけるくぼみ深さであって、同一の基準荷重 $P_0$ におけるそれぞれくぼみ深さ $h_1$ 、 $h_2$ を求め、次いで式(1)及び(2)によって算出するものである。また上記試料の硬さ $H_E$ は、上記基準荷重 $P_0$ と試験荷重 $P$ との比( $r = P_0 / P$ )が同一の条件において、上記等価くぼみ深さ $h_e$ を変数とする単純増加関数または単純減少関数として算出する。

$$\text{式(1)}: h = h_2 - h_1$$

$$\text{式(2)}: h_e = h / P^{1/2}$$

【0019】

このように発明を構成すれば、計装化押し込み硬さ試験機等によって、押し込み荷重とくぼみ深さとの双方を連続的に計測し、所定の基準荷重 $P_0$ における負荷工程のくぼみ深さ $h_1$ と除荷工程のくぼみ深さ $h_2$ とを求めれば、直ちに硬さ $H_E$ を算出することができる。したがって、いわゆるくぼみ深さ $h$ が $\mu\text{m} \sim \text{nm}$ 単位のナノ領域から、くぼみ深さ $h$ が $\text{mm}$ 単位のマクロ領域にわたって、上述したものと同様な作用効果を発揮することができる。特に硬さ試験機のフレームコンプライアンスの影響を回避できる点に大きな技術的意義を有する。また硬さ試験と評価の自動化も容易になる。

【0020】

ところで上述した等価くぼみ深さ $h_e$ を用いる硬さ試験方法では、基準荷重 $P_0$ と試験荷重 $P$ との比( $r = P_0 / P$ )を同一にしておけば、硬さの相似則が成立するため、試験荷重 $P$ の大小にかかわらず、同一の硬さ $H_E$ を得ることができる。しかし本発明の硬さの相似則を確認する試験において、この基準荷重 $P_0$ と試験荷重 $P$ との比( $r = P_0 / P$ )が異なると、硬さの相似則が成立しないことが確認された。そこで本願発明者は、この問題を解決すべく、上記比( $r = P_0 / P$ )が異なる場合の上記 $h$ に換算する方法を見出した。

【0021】

すなわち本発明による硬さ試験方法のさらなる特徴は、上記 $r$ が異なる場合の上記 $h$ に、次の式(3)によって換算する工程を含むことにある。

$$\text{式(3)}: h_B = h_A \times (1 - r_B^{1/2}) / (1 - r_A^{1/2})$$

ここで $h_A$ は、上記 $r$ が $r_A$ の場合の上記 $h$ 、

$h_B$ は、上記 $r$ が $r_B$ の場合の上記 $h$ を意味する。

【0022】

上記式(3)を用いれば、ある $r$ の条件の下で計測した $h$ と、他の $r$ の条件の下で計測した $h$ とを相互に換算できるため、互いに $r$ が異なる条件で求めた硬さ $H_E$ の大小を、同一の基準で評価することができる。

【0023】

次に式(3)について、図1を参照しつつ説明する。図1は、例えば硬さの相似則が成立するピッカー用四角錐の圧を用い、所定の押し込み荷重で押し込んだときの、くぼみ深さを図解したものである。すなわちまず基準荷重 $P_0$ を掛けた状態におけるくぼみ深さを $h_1$ 、次に押し込み荷重を試験荷重 $P$ に増加した状態におけるくぼみ深さを $h_{max}$ 、次に押し込み荷重を再度基準荷重 $P_0$ に戻した状態におけるくぼみ深さを $h_2$ 、最後に押し込み荷

10

20

30

40

50

重を掛けない、完全に除荷した状態におけるくぼみ深さを  $h_f$  とする。

【0024】

ここで押込み荷重を増加していく負荷工程と、減少していく除荷工程との双方で、いわゆる硬さの相似則が成立するものと仮定する。すなわち次の式 (a) と (b) とが成立するものと仮定する。

$$\text{式 (a) : } P = a h^2 \quad (\text{負荷工程})$$

$$\text{式 (b) : } P = b (h - h_f)^2 \quad (\text{除荷工程})$$

【0025】

さて負荷工程においては上記式 (a) が成立するため、基準荷重  $P_0$  においては、

$$\text{式 (c) : } P_0 = a h_1^2$$

試験荷重  $P$  においては、

$$\text{式 (d) : } P = a h_{\text{max}}^2$$

となる。次に除荷工程においては上記式 (b) が成立するため、基準荷重  $P_0$  においては、

$$\text{式 (e) : } P_0 = b (h_2 - h_f)^2$$

試験荷重  $P$  においては、

$$\text{式 (f) : } P = b (h_{\text{max}} - h_f)^2$$

となる。

【0026】

また上述したように基準荷重と試験荷重との比  $r$  は、 $r = P_0 / P$  だから、負荷工程においては、式 (c) と式 (d) とから、

$$a h_1^2 = P_0 = r P = r a h_{\text{max}}^2$$

$$\text{よって、式 (g) } h_1^2 = r h_{\text{max}}^2$$

が得られる。

また除荷工程においては、式 (e) と式 (f) とから、

$$(h_2 - h_f)^2 = P_0 / b = r P / b = r b (h_{\text{max}} - h_f)^2$$

$$\text{よって、式 (h) } (h_2 - h_f)^2 = r (h_{\text{max}} - h_f)^2$$

が得られる。

したがって式 (g) と (h) とから、

$$\text{式 (i) } h = h_2 - h_1 = (1 - r^{1/2}) h_f$$

が得られる。

【0027】

そこで基準荷重と試験荷重との比  $r (= P_0 / P)$  が  $r_A$  の場合の  $h$  を

$h_A$  とし、この  $r$  が  $r_B$  の場合の  $h$  を  $h_B$  とすると、それぞれ式 (i) に代入して、

$$\text{式 (j) } h_A = (1 - r_A^{1/2}) h_f$$

$$\text{式 (k) } h_B = (1 - r_B^{1/2}) h_f$$

が得られる。ここで  $h_f$  は、最大荷重である試験荷重  $P$  には依存するが基準荷重  $P_0$  には依存しないので、この  $h_f$  を一定とすると、式 (j) と式 (k) とから、

$$\text{式 (l) } h_B = h_A (1 - r_B^{1/2}) / (1 - r_A^{1/2})$$

が求められる。

【0028】

さて上記試料の硬さ ( $H_E$ ) は、次の式 (4) ~ 式 (6) のいずれかの 1 によって算出することが望ましい。

$$\text{式 (4) : } H_E = K_1 - K_2 \cdot h_e$$

$$\text{式 (5) : } H_E = K_1 + K_2 \cdot (h_e)^{-1}$$

$$\text{式 (6) : } H_E = K_1 + K_2 \cdot (h_e)^{-2}$$

ここで  $K_1$  及び  $K_2$  は、定数。

【0029】

なお上記式 (4) は、硬さ  $H_E$  を、等価くぼみ深さ  $h_e$  の一次関数として表わしたも

10

20

30

40

50

ので、従来のロックウェル硬さのように、等価くぼみ深さ  $h_e$  に対する硬さの大小を、右下がりの直線として表わすことができる。また上記式(5)は、硬さ  $H_E$  を、等価くぼみ深さ  $h_e$  の逆数の一次関数として表わしたもので、次に示す式(6)より、硬さが高い試料の試験においては、等価くぼみ深さ  $h_e$  に対する硬さの感度を鈍く抑えることができ、逆に硬さが低い試料の試験においては、等価くぼみ深さ  $h_e$  に対する硬さの感度を鋭くすることができる。また式(6)は、押し込み荷重とくぼみ面積との間に、相似則が成立する、 $P/h^2 = \text{一定}$  という関係に基づくものである。

【0030】

また上記錐形状の圧子は、四角錐、三角錐、円錐、または菱形錐のいずれかの1の形状からなることが、さらに望ましい。なおここで、硬さの相似則を成立させるためには、それぞれの錐形状は、ロックウェル用の圧子のように先端を球面形状に仕上げず、実用限度において、できるだけ鋭く尖らせることが望ましい。なお圧子の材質としては、ダイヤモンドが望ましい。

【発明の効果】

【0031】

上述したように、ロックウェル硬さ試験方法と同様の基準荷重を用いる工業的硬さ試験方法であるが、硬さの相似則が成立するため、試験荷重が変わっても硬さの値は同一となる。したがって試験荷重の大小に依存しない統一的な硬さの評価が可能となる。また基準荷重を用いるため、硬さ試験機のフレームコンプライアンスによる影響を回避でき、各種標準試料の物性値による補正や較正の必要がない。圧子のくぼみ深さ  $h$  の原点を、基準荷重  $P_0$  を加えた位置にすることに相当するため、圧子先端の理想形状に対する誤差の影響も小さく、さらに原点検出の誤差も生じ難くなる。さらに基準荷重と試験荷重との比が異なるために硬さの相似則が成立しない場合にも、くぼみ深さの差である  $h$  を、基準荷重と試験荷重との比が異なる場合の  $h$  に換算できるので、試験荷重  $P$  だけでなく、基準荷重と試験荷重との比  $r$  にかかわらず、硬さの統一的な評価が可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

圧子は、硬さの相似則が得られる錐形状を有するものであって、それぞれがダイヤモンド製の、ピッカーズ用の四角錐圧子(対面角が  $136 \pm 0.5^\circ$ )、バーコピッチ用の三角錐圧子(圧子軸と面のなす角が  $65.03^\circ$ 、または  $65.27^\circ$ )、円錐圧子(頂角が  $120 \pm 0.35^\circ$  等)、及びヌープ用の菱形錐(対菱角が  $172^\circ 30'$ 、 $130^\circ$ )等を使用することができる。

【0033】

硬さ試験機は、くぼみ深さと押し込み荷重との双方を同時計測できる、ロックウェル硬さ試験機、あるいはくぼみ深さと押し込み荷重との双方を連続的に同時計測できる、計装化押し込み硬さ試験機等を使用する。マクロ領域の硬さ試験には、例えば株式会社アカシ製の Wizard HR522 及び Wilson 社製の 2001T のロックウェル硬さ試験機、並びに株式会社明石製作所製の ORK(s) 及び AHT(s) のロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を使用する。ナノ領域の硬さ試験には、例えば株式会社エリオニクス製の ENT-2100、及び MTS 社製の DCM のナノインデンテーション硬さ試験機(計装化押し込み硬さ試験機)を使用する。

【0034】

ロックウェル硬さ試験機、及びロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を使用する場合には、ロックウェル硬さ試験の定義式に従い、試験機の表示値から、除荷工程時の基準荷重  $P_0$  におけるくぼみ深さ  $h_2$  から、負荷工程時の基準荷重  $P_0$  におけるくぼみ深さ  $h_1$  を引いて、両者のくぼみ深さ  $h_2$ 、 $h_1$  の差  $h$  を求める。ナノインデンテーション硬さ試験機を使用する場合には、連続的に取り込まれた荷重-くぼみ深さデータを、図2に示すように、基準荷重  $P_0$  におけるくぼみ深さの差  $h$  を求める。

【0035】

次いでこのくぼみ深さの差  $h$  を、試験荷重  $P$  の平方根  $P^{1/2}$  で除して、等価くぼみ

10

20

30

40

50

深さ  $h_e$  を求める。なおこの等価くぼみ深さ  $h_e$  を求める場合は、基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比  $r (= P_0 / P)$  を一定にする。例えば  $r$  を一定の  $1 / 15 \sim 1 / 10$  に設定する。そしてロックウェル硬さ試験機を使用する際には、 $r = 1 / 15$ 、または  $1 / 10$  の場合、試験荷重  $P$  と基準荷重  $P_0$  とは、それぞれ例えば  $P = 150 \times 9.8 \text{ N}$  と  $P_0 = 10 \times 9.8 \text{ N}$  とに、または  $P = 100 \times 9.8 \text{ N}$  と  $P_0 = 10 \times 9.8 \text{ N}$  とに設定する。ロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を使用する際には、 $r = 1 / 15$ 、または  $1 / 10$  の場合、試験荷重  $P$  と基準荷重  $P_0$  とは、それぞれ例えば  $P = 45 \times 9.8 \text{ N}$  と  $P_0 = 3 \times 9.8 \text{ N}$  とに、または  $P = 30 \times 9.8 \text{ N}$  と  $P_0 = 3 \times 9.8 \text{ N}$  とに設定する。

#### 【0036】

なお硬さの相似則を厳密に成立させるためには、試験荷重の大小にかかわらず、マクロ領域からナノ領域まで、荷重負荷条件を一定にすることが望ましい。例えば、荷重負荷時間を約3秒とし、荷重保持時間を約5秒とするように、荷重の増減速度と保持時間とを一定にして、硬さ試験を行なう。

#### 【0037】

上述した手順により等価くぼみ深さ  $h_e$  が求まったら、次に試料の硬さの序列を明確にするため、一定の規則に基づいて試料の硬さを定義する。この硬さの定義としては、例えば等価くぼみ深さ  $h_e$  の一次関数あるいは二次関数等によって表わすことができる。その1例として、図3にタイプA、B、及びCを示す。すなわちタイプAとは、次の式(4)に示すように、試料の硬さ  $H_E$  を、定数  $K_1$  から、等価くぼみ深さ  $h_e$  に定数  $K_2$  を乗じたものを減じたものと定義する。この場合、試料の硬さ  $H_E$  の大小は、等価くぼみ深さ  $h_e$  に比例して減少する直線的な序列として表示される。

$$\text{式(4)}: H_E = K_1 - K_2 \cdot h_e$$

#### 【0038】

次にタイプBとは、次の式(5)に示すように、試料の硬さ  $H_E$  を、定数  $K_1$  に、定数  $K_2$  を等価くぼみ深さ  $h_e$  で除したものを加えたものと定義する。この場合、試料の硬さ  $H_E$  の大小は、等価くぼみ深さ  $h_e$  に反比例して減少する曲線的な序列として表示される。

$$\text{式(5)}: H_E = K_1 + K_2 \cdot (h_e)^{-1}$$

#### 【0039】

最後にタイプCとは、次の式(6)に示すように、試料の硬さ  $H_E$  を、定数  $K_1$  に、定数  $K_2$  を等価くぼみ深さ  $h_e$  の二乗で除したものを加えたものと定義する。この場合、試料の硬さ  $H_E$  の大小は、等価くぼみ深さ  $h_e$  の二乗に反比例して減少する曲線的な序列として表示される。

$$\text{式(6)}: H_E = K_1 + K_2 \cdot (h_e)^{-2}$$

#### 【0040】

ところで上述した等価くぼみ深さ  $h_e$  によって硬さを評価する方法では、基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比  $r$  が異なると、硬さの相似則が満足しない。そこで比  $r$  が、それぞれ異なる条件の下で求めた硬さ  $H_E$  を比較する場合には、次の式(3)によって  $h$  を換算する。

$$\text{式(3)}: h_B = h_A \times (1 - r_B^{1/2}) / (1 - r_A^{1/2})$$

ここで  $h_A$  は、 $r$  が  $r_A$  の場合の  $h$ 、

$h_B$  は、 $r$  が  $r_B$  の場合の  $h$  を意味する。

#### 【実施例】

##### 【0041】

次の試験を実施することによって、本願発明による硬さ試験方法の妥当性等を確認した。すなわち図4に示すピッカーズ硬さ基準片を用いて、本願発明による硬さ試験方法を実施した。マクロ領域の硬さ試験については、株式会社アカシ製の Wizard HR522、及びWilson社製の2001Tのロックウェル硬さ試験機、並びに株式会社明石製作所製のORK(s)及びAHT(s)のロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を

10

20

30

40

50



用いた。圧子は、ダイヤモンド製の四角錐からなるビッカース用の圧子を、各試験毎に2本ずつ使用した。

【0042】

なお使用したビッカース用の圧子は、正規の四角錐として仕上げてある部分の対角線長さが約1.5mmであったため、くぼみの大きさがそれ以下になるように、試験荷重Pと硬さ基準片とを組み合わせる硬さ試験を実施した。ナノ領域の硬さ試験には、株式会社エリオニクス製のENT-2100、及びMTS社製のDCMのナノインデンテーション硬さ試験機を用いた。圧子は、ダイヤモンド製の三角錐からなるバーコビッチ用の圧子を使用した。

【0043】

ロックウェル硬さ試験機、及びロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を使用したときには、ロックウェル硬さ試験の定義式に従い、試験機の表示値から、後の基準荷重 $P_0$ におけるくぼみ深さ $h_2$ から、前の基準荷重 $P_0$ におけるくぼみ深さ $h_1$ を引いて、両者のくぼみ深さの差 $h$ を求めた。ナノインデンテーション硬さ試験機を使用したときには、荷重-くぼみ深さデータを連続的に取り込み、図2に示すようにグラフ化して、基準荷重 $P_0$ におけるくぼみ深さの差 $h$ を求めた。

【0044】

次いでこのくぼみ深さの差 $h$ を、試験荷重Pの平方根( $P^{1/2}$ )で除して、等価くぼみ深さ $h_0$ を求めた。なお基準荷重 $P_0$ と試験荷重Pとの比 $r (= P_0 / P)$ は、1/15、及び1/10に固定した。ロックウェル硬さ試験機を使用したときには、 $r = 1 / 15$ 、または1/10の場合、試験荷重Pと基準荷重 $P_0$ とは、それぞれ $P = 150 \times 9.8 \text{ N}$ と $P_0 = 10 \times 9.8 \text{ N}$ とに、または $P = 100 \times 9.8 \text{ N}$ と $P_0 = 10 \times 9.8 \text{ N}$ とに設定した。ロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を使用したときには、 $r = 1 / 15$ 、または1/10の場合、試験荷重Pと基準荷重 $P_0$ とは、それぞれ $P = 45 \times 9.8 \text{ N}$ と $P_0 = 3 \times 9.8 \text{ N}$ とに、または $P = 30 \times 9.8 \text{ N}$ と $P_0 = 3 \times 9.8 \text{ N}$ とに設定した。またナノインデンテーション硬さ試験機を使用したときには、 $r$ の値に関わり無く、試験荷重Pを、 $0.0015 \times 9.8 \text{ N}$ に設定して硬さ試験を実施した。

【0045】

なお硬さの相似則を厳密に成立させるために、荷重負荷条件を一定にして硬さ試験を実施した。すなわち荷重の増減速度と保持時間とを一定にするために、荷重負荷時間を約3秒、荷重保持時間を約5秒に設定した。またナノ領域に関する硬さ試験では、試験機のメーカーの推奨の条件の下で実施した。

【0046】

マクロ領域における硬さ試験は、図4に示したビッカース硬さ基準片を使用し、4台の硬さ試験機にて、 $r (= P_0 / P)$ を1/15、及び1/10の2ケースに設定して行なった。すなわち2種類のロックウェル硬さ試験機を用いて、 $r$ が1/15の場合は、試験荷重Pを $150 \times 9.8 \text{ N}$ に、 $r$ が1/10の場合は、試験荷重Pを $100 \times 9.8 \text{ N}$ に替えて行なった。また2種類のロックウェルスーパーフィシャル硬さ試験機を使用して、 $r$ が1/15の場合は、試験荷重Pを $45 \times 9.8 \text{ N}$ に、 $r$ が1/10の場合は、試験荷重Pを $30 \times 9.8 \text{ N}$ に替えて行なった。ナノ領域における硬さ試験は、図4に示したマイクロビッカース硬さ基準片を使用して、2種類のナノインデンテーション硬さ試験機によって、試験荷重Pを $0.0015 \times 9.8 \text{ N}$ に設定して実施した。なお図4に示すHMV1600の窒化けい素セラミック製のマイクロビッカース硬さ基準片については、上述の試験荷重Pを $0.0015 \times 9.8 \text{ N}$ に設定する場合の他に、試験荷重Pを上記マクロ領域の硬さ試験と同じ $45 \times 9.8 \text{ N}$ 、及び $30 \times 9.8 \text{ N}$ にして、硬さ試験を実施した。

【0047】

上記硬さ試験の結果を、図5に示す。この図5は、ビッカース硬さ基準片毎に、 $r (= P_0 / P)$ を1/15、及び1/10に設定して、それぞれの $r$ において、試験荷重Pを、 $150 \times 9.8 \text{ N}$ 、及び $45 \times 9.8 \text{ N}$ 、並びに $100 \times 9.8 \text{ N}$ 、及び $30 \times 9.8$

10

20

30

40

50

Nの4種類に条件の下に得られたくぼみ深さの差  $h$  と、この  $h$  から計算した等価くぼみ深さ  $h_e$  とを示している。

【0048】

図6に、図5に示した試験データに基づき、異なる試験荷重  $P$  における等価くぼみ深さ  $h_e$  を比較したグラフを示す。すなわち図5に示した等価くぼみ深さ  $h_e$  について、 $r (= P_0 / P)$  が一定の  $1 / 15$  において、試験荷重  $P$  が  $45 \times 9.8 \text{ N}$  の場合の  $h_e$  を横軸に取り、試験荷重  $P$  が  $150 \times 9.8 \text{ N}$  の場合の  $h_e$  を縦軸に取ってプロットしたものを示す(図6菱形印)。また  $r (= P_0 / P)$  が一定の  $1 / 10$  において、試験荷重  $P$  が  $30 \times 9.8 \text{ N}$  の場合の  $h_e$  を横軸に取り、試験荷重  $P$  が  $100 \times 9.8 \text{ N}$  の場合の  $h_e$  を縦軸に取ってプロットしたものを示す(図6丸印)。

10

【0049】

この図6から、マクロ領域における硬さ試験については、 $r = 1 / 15$  が同一の下では、相異なる試験荷重  $P = 45 \times 9.8 \text{ N}$  と  $150 \times 9.8 \text{ N}$  とにおける等価くぼみ深さ  $h_e$  は、その差が概ね1%以内で一致しており、また  $r = 1 / 10$  の下でも、相異なる試験荷重  $P = 30 \times 9.8 \text{ N}$  と  $100 \times 9.8 \text{ N}$  とにおける等価くぼみ深さ  $h_e$  が、同様な試験結果であることから、等価くぼみ深さ  $h_e$  を用いることによって、硬さの相似則が成立することが確認できた。

【0050】

図7に、ナノ領域について、異なる試験荷重  $P$  における等価くぼみ深さ  $h_e$  を比較したグラフを示す。この図7は、図4に示すマイクロビッカース硬さ基準片を用いて、 $r (= P_0 / P)$  を一定の  $1 / 15$ 、及び  $1 / 10$  に設定して、試験荷重  $P$  を  $45 \times 9.8 \text{ N}$  にした場合の  $h_e$  を横軸に取り、試験荷重  $P$  を  $0.0015 \times 9.8 \text{ N}$  にした場合の  $h_e$  を縦軸に取ってプロットしたものを示す(図7菱形印)。また  $r (= P_0 / P)$  を一定の  $1 / 10$  に設定して、試験荷重  $P$  を  $30 \times 9.8 \text{ N}$  にした場合の  $h_e$  を横軸に取り、試験荷重  $P$  を  $0.0015 \times 9.8 \text{ N}$  にした場合の  $h_e$  を縦軸に取ってプロットしたものを示す(図7丸印)。

20

【0051】

図7から、ナノ領域における硬さ試験については、 $r = 1 / 15$ 、及び  $1 / 10$  と同一の条件の下では、相異なる試験荷重  $P$  における等価くぼみ深さ  $h_e$  は、その差に多少のバラツキがあるものの、ほぼ45度の直線上にプロットされる。したがってナノ領域においても、等価くぼみ深さ  $h_e$  を用いることによって、硬さの相似則が満たされることが確認できた。

30

【0052】

以上により、マクロ領域からナノ領域にわたって、基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比  $r$  を一定にすれば、上述した等価くぼみ深さ  $h_e$  は、押し込み荷重の大小にかかわらず同一の値となる。したがって硬さの評価値を、この等価くぼみ深さ  $h_e$  の関数、例えば一次関数あるいは二次関数として表わせば、硬さの評価値についても、荷重の大小にかかわらず同一の値を得ることが可能となった。

【0053】

次に以下の試験を実施することによって、基準荷重  $P_0$  と試験荷重  $P$  との比  $r$  が異なる場合には、本願発明による換算方法によって、 $h$  を相互に換算できることを確認した。この確認は前出の図5に示した、 $r = P_0 / P$  が、 $1 / 15$  と  $1 / 10$  と異なる場合に、本発明の方法を適用して  $h$  を換算し、この換算した  $h$  に基づいて算出した等価くぼみ深さ  $h_e$  が、相互に一致するか否かを検証することによって行なった。なお図5に示すように、 $r$  を  $1 / 15$  から  $1 / 10$  に変化させると、試験荷重  $P$  が  $150 \times 9.8 \text{ N}$  及び  $45 \times 9.8 \text{ N}$  の場合と、 $100 \times 9.8 \text{ N}$  及び  $30 \times 9.8 \text{ N}$  の場合とでは、明らかに  $h_e$  が異なることが理解できる。

40

【0054】

さて図5に示した  $r = P_0 / P$  が  $1 / 15$  の場合の  $r$  を  $r_A$ 、 $h$  を  $h_A$  とし、この  $r$  が  $1 / 10$  の場合の  $r$  を  $r_B$ 、 $h$  を  $h_B$  とする。したがって本発明によ

50

る換算の式(3)である  $h_B = h_A \times (1 - r_B^{1/2}) / (1 - r_A^{1/2})$  の  $(1 - r_B^{1/2}) / (1 - r_A^{1/2})$  に、上記  $r_A = 1/15$ 、及び  $r_B = 1/10$  を代入すると、0.9218となる。すなわちこの0.9218は、 $r$  が  $r_A = 1/15$  の場合の  $h_A$  を、 $r$  が  $r_B = 1/10$  の場合の  $h_B$  に換算する換算係数である。

【0055】

さて図8は、上述した式(2)  $h_e = h / P^{1/2}$  を用いて、図5に示した  $r = P_0 / P$  が  $1/15$  の場合の  $h_A$  に、上記換算係数0.9218を乗じて  $h_B$  を求め、この  $h_B$  から式(2)によって算出した  $h_e$  を横軸に、図5に示した  $r = P_0 / P$  が  $1/10$  の場合の  $h_e$  を縦軸にして、それぞれプロットしたものである。すなわち、 $r = 1/15$ 、試験荷重  $P$  が  $150 \times 9.8 \text{ N}$  の  $h_A$  に、換算係数0.9218を乗じた  $h_B$  から、式(2)によって算出した  $h_e$  を横軸に、 $r = 1/10$ 、試験荷重  $P$  が  $100 \times 9.8 \text{ N}$  の  $h_e$  を縦軸にしたデータを白丸印、及び  $r = 1/15$ 、試験荷重  $P$  が  $45 \times 9.8 \text{ N}$  の  $h_A$  に、換算係数0.9218を乗じた  $h_B$  から、式(2)によって算出した  $h_e$  を横軸に、 $r = 1/10$ 、試験荷重  $P$  が  $30 \times 9.8 \text{ N}$  の  $h_e$  を縦軸にしたデータを白四角印としてプロットしてある。なお参考のため、 $r = 1/15$  の場合の  $h_A$  を換算せずに、そのまま上述した式(2)に代入して求めた  $h_e$  を横軸にとった場合を、それぞれ黒丸印と黒四角印でプロットした。

10

【0056】

図8に示すように、 $r = 1/15$  の場合の  $h_A$  を、本発明の方法によって、 $r = 1/10$  の場合の  $h_B$  に換算し、この  $h_B$  から式(2)によって算出した等価くぼみ深さ  $h_e$  は、 $r = 1/10$  の場合の  $h$  から算出した等価くぼみ深さ  $h_e$  と、よく一致することが確認された。したがって、この換算方法によれば、 $r$  が相互に異なる場合でも、硬さを同一の基準で統一的に評価することができる。

20

【産業上の利用可能性】

【0057】

マクロ領域からナノ領域にわたって、荷重の大小にかかわらず簡便かつ安定的に同一の硬さの評価値が得られるため、材料試験等に関する産業に広く利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】圧子に掛けた所定の押込み荷重と、その押込み荷重におけるくぼみ深さを示す説明図である。

30

【図2】連続的に計測したデータから基準荷重  $P_0$  におけるくぼみ深さの差  $h$  を求める手段を示す説明図である。

【図3】等価くぼみ深さ  $h_e$  に基づいて硬さの評価値を算出する手段を示す説明図である。

【図4】ピッカース硬さ基準片の特性を示す表である。

【図5】ピッカース硬さ基準片を用いた硬さ試験の結果を示す表である。

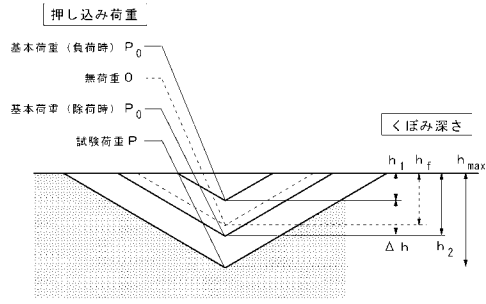
【図6】マクロ領域において硬さの相似則が成立することを示すグラフである。

【図7】ナノ領域において硬さの相似則が成立することを示すグラフである。

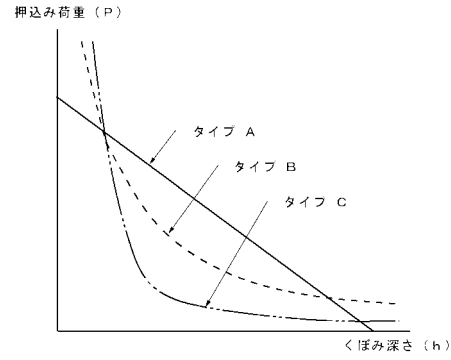
【図8】基準荷重と試験荷重との比が異なる場合の換算方法の妥当性を示すグラフである

40

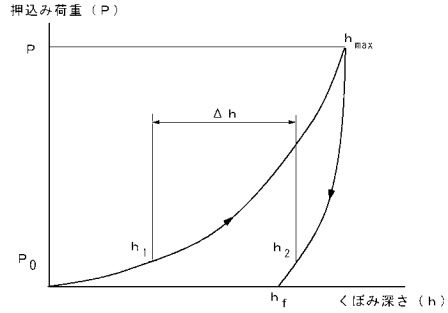
【図 1】



【図 3】



【図 2】



【図 4】

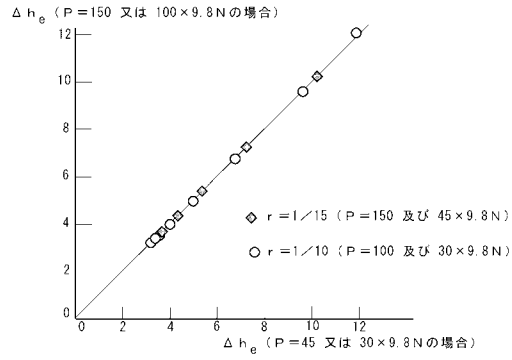
スケール	硬さ	サイズ (mm)	材質 (JIS)	材料組織
ビッカース (HV)	97.9HV30	φ6.4×11.5	鋼 (SK120) 鋼 (SKS3)	マルテンサイト
	90.5HV30			マルテンサイト (焼き戻し)
	70.2HV30			ツルースタイト
ビッカース (HV)	50.7HV10	φ2.5×16	鋼 (SK85)	ツルースタイト
	29.3HV10			ソルサイト
マイクロビッカース (HKV)	1.98HV10	φ6.4×11.0	鋼 (S45C)	フェライトとセメンタイト
	1.03HV10			焼き戻し
	1.652HV0.1	□10×15	窒化炭素 (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	マルテンサイト (焼き戻し)
	9.02HV0.01			ツルースタイト
30.4HV0.01	鋼 (SK85)	ソルサイト		
1.02HV0.01			真鍮 (C2500P)	焼き戻し

【図 5】

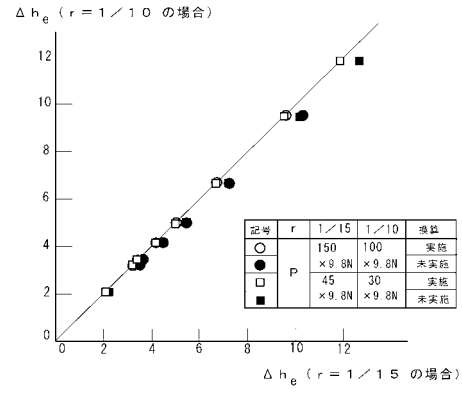
$P_0/P$	$r=1/15$		$r=1/10$	
	$\Delta h$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta h_g$	$\Delta h$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta h_g$
くぼみ深さ	$150 \times 9.8N$	$45 \times 9.8N$	$100 \times 9.8N$	$30 \times 9.8N$
試験荷重	$150 \times 9.8N$	$45 \times 9.8N$	$100 \times 9.8N$	$30 \times 9.8N$
1.616HV1	15.3	2.28	11.7	2.13
97.9HV30	42.4	3.46	31.9	3.19
90.5HV30	45.5	3.71	34.1	3.41
70.2HV30	54.4	4.44	41.0	4.10
50.7HV10	66.3	5.42	50.0	5.00
29.3HV10	90.0	7.35	67.9	6.79
1.98HV10	126	10.3	94.8	9.48
1.03HV10	187.0	13.0	121	12.1
39HV10			117	11.7

$\Delta h_g = \Delta h / (P^2 \times 9.8)$

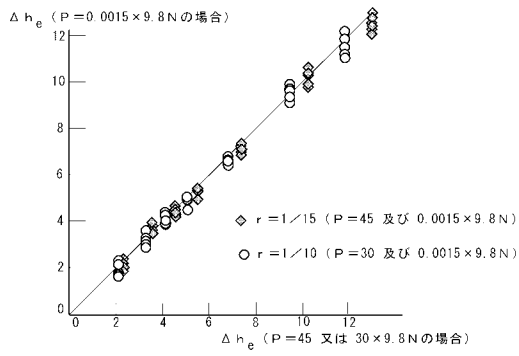
【図6】



【図8】



【図7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山本 卓

千葉県船橋市栄町2丁目15番4号 株式会社山本科学工具研究社内

審査官 福田 裕司

(56)参考文献 特開2001-349815(JP,A)

特開平07-128208(JP,A)

特開昭55-125432(JP,A)

特開2004-233304(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 3/42