

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-268022

(P2008-268022A)

(43) 公開日 平成20年11月6日(2008.11.6)

(51) Int.Cl.
G01N 3/42 (2006.01)

F I
G O I N 3/42 Z

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2007-112057 (P2007-112057)
(22) 出願日 平成19年4月20日 (2007. 4. 20)

(71) 出願人 301023238
独立行政法人物質・材料研究機構
茨城県つくば市千現一丁目2番地1
(71) 出願人 507131056
株式会社山本科学工具研究社
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

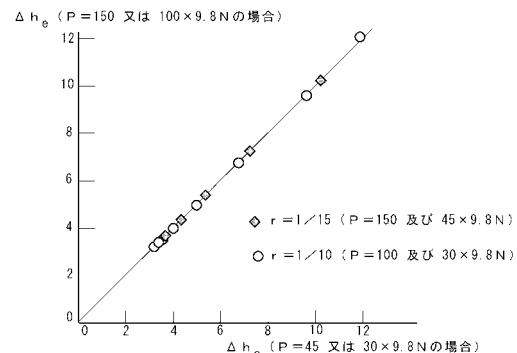
(54) 【発明の名称】 硬さ試験方法

(57) 【要約】

【課題】 基準荷重を用い、かつ硬さの相似則を満足できるようにする。

【解決手段】 ビッカース用圧子等を用いて基準荷重 P_0 、次いで試験荷重 P を掛け、再び基準荷重 P_0 に戻して前後の基準荷重 P_0 におけるくぼみ深さ h_1 、 h_2 を計測する。くぼみ深さ h_2 と h_1 との差 h を試験荷重 P の平方根で除して、等価くぼみ深さ $h_e = h / P^{1/2}$ を算出する。なお基準荷重 P_0 / 試験荷重 P が異なる場合には、 h を所定の方法で換算する。硬さの評価値 H_E を、 h_e の一次関数等として表わす。等価くぼみ深さ h_e は硬さの相似則を満たすため、この h_e に基づく硬さ H_E は、荷重の大小にかかわらず同一の値となる。

【選択図】 図6



【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、

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、

30

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。

40

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

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。

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

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

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

50

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。

10

【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、ピ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、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。

20

【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。

30

【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、パーコピッチ圧子、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。

40

【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 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

50

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。

【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、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。

10

【0009】

ビ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。

20

【0010】

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。このため押し込み荷重 P が変化すると、試料の硬さの評価値が相違してしまう。

30

【0011】

計装化押し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。

30

【0012】

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】**【0013】**

上記課題を解決すべく本願発明者は、従来硬さ試験方法の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い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。

40

【0014】

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し込んで、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ことにある。上記押し込み工程は、基準荷重 P_0 におけるくぼみ深さ h_1 を計測する

50

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。

$$\text{式 (1) : } h = h_2 - h_1$$

$$\text{式 (2) : } h_e = h / P^{1/2}$$

【0015】

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、押し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。

10

【0016】

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。

20

【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み、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。

30

$$\text{式 (1) : } h = h_2 - h_1$$

$$\text{式 (2) : } h_e = h / P^{1/2}$$

【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 m 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。

40

【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

50

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。

10

【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の四角錐の圧を用い、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。

20

【0024】

ここで押し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、

$$\text{式 (c) : } P_0 = a h_1^2$$

30

試験荷重 P においては、

$$\text{式 (d) : } P = a h_{max}^2$$

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、

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

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、

40

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

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

が得られる。

また除荷工程においては、式 (e) と式 (f) とから、

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

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

が得られる。

したがって式 (g) と (h) とから、

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

50

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、

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

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

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、

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

10

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。

20

【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。

30

【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。

40

【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 $136 \pm 0.5^\circ$)、パーコピッチ用の三角錐圧子 (圧子軸と面のなす角が 65.03° 、または 65.27°)、円錐圧子 (頂角

50

が $120 \pm 0.35^\circ$ 等)、及びヌーブ用の菱形錐(対菱角が $172^\circ 30'$ 、 130°)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込み荷重との双方を連続的に同時計測できる、計装化押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(計装化押込み硬さ試験機)を使用する。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

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

【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】

50

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

【0042】

なお使用したピッカーズ用の圧子は、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パーコピ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_e 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

10

20

30

40

50

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、試験機のメーカの推奨の条件の下で実施した。

【 0 0 4 6 】

マクロ領域における硬さ試験は、図 4 に示したピ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 に示したマイクロピ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 HMV 1600 の窒化けい素セラミック製のマイクロピ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。

10

【 0 0 4 7 】

上記硬さ試験の結果を、図 5 に示す。この図 5 は、ピ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 $30 \times 9.8 \text{ N}$ 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。

20

【 0 0 4 8 】

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)。

30

【 0 0 4 9 】

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。

【 0 0 5 0 】

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 に示すマイクロピ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)。

40

【 0 0 5 1 】

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

50

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。

【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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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し込み荷重と、その押し込み荷重におけるくぼみ深さを示す説

50

明図である。

【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】ビッカース硬さ基準片の特性を示す表である。

【図5】ビ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。

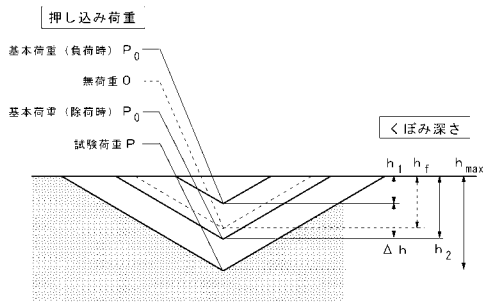
【図6】マクロ領域において硬さの相似則が成立することを示すグラフである。

【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。

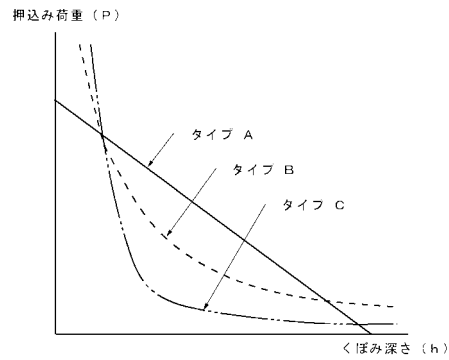
【図8】基準荷重と試験荷重との比が異なる場合の換算方法の妥当性を示すグラフである

。

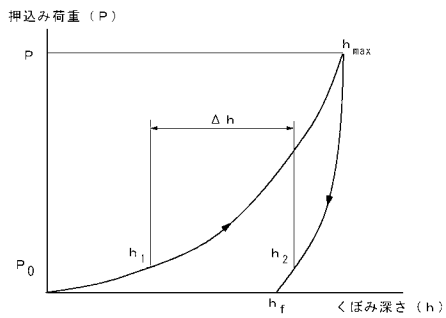
【図1】



【図3】



【図2】



【 図 4 】

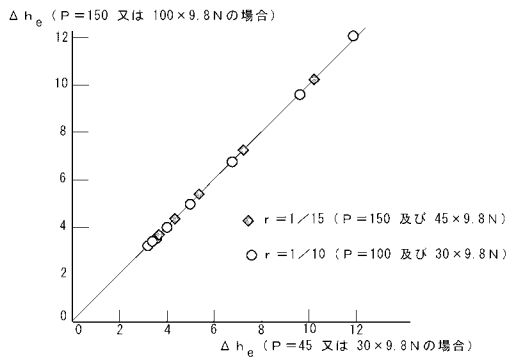
スケール	硬さ	サイズ (mm)	材質 (JIS)	材質組織	
	97.9HV30	φ6.4×1.15	鋼 (SK12D)	マルテンサイト	
	90.5HV30				マルテンサイト (焼き戻し)
	70.2HV30				鋼 (SK53)
ピッカース (HV)	50.7HV10	φ6.4×1.15	鋼 (SK65)	ツルースタイト	
	29.5HV10				ツルバイト
	15.8HV10				フェライトとセメンタイト
	10.2HV10	φ6.4×1.10	真鍮 (C2600P)	焼き直し	
	15.5HV0.1 (JIS15HV1.1)	φ10×1.5	硬化低炭素 (S35N4)	マルテンサイト (焼き戻し)	
	90.2HV0.01				ツルースタイト
69.9HV0.01	ツルースタイト				
マイクロ ピッカース (HMV)	50.6HV0.01	φ2.5×1.0	鋼 (SK85)	ツルースタイト	
	30.4HV0.01				ツルバイト
	10.2HV0.01				焼き直し

【 図 5 】

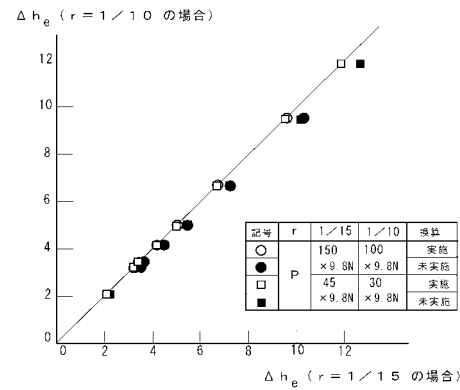
P ₀ /P	r = 1/15		r = 1/10	
	Δh (μm)	Δh _e	Δh (μm)	Δh _e
くぼみ深さ	150×9.8N	45×9.8N	100×9.8N	30×9.8N
試験荷重P	15.3	2.28	11.7	2.13
97.9HV30	42.4	3.46	31.9	3.18
90.5HV30	45.5	3.71	34.1	3.41
70.2HV30	54.4	4.43	41.0	4.08
50.7HV10	66.3	5.42	50.0	4.99
29.5HV10	90.0	7.35	67.9	6.79
15.8HV10	126	8.70	94.8	9.48
10.2HV10	87.0	13.0	65.2	11.9
39HV10			11.7	21.3

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

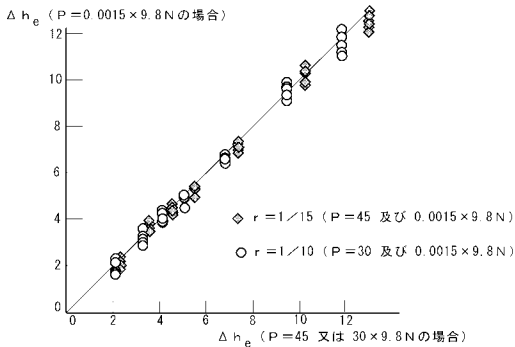
【 図 6 】



【 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