

硬さ試験 と試料作製



Application Notes

1. はじめに

硬さ試験は、材料評価、製造工程の品質管理、研究開発工程に使用される有用なツールです。試験では、強度、耐久性、延性、耐摩耗性などの材料特性を数値で表示します。

このアプリケーションノートでは、硬質の圧子を軟質材料に押し付けたときの材料の塑性変形に対する耐性の尺度として定義される押し込み硬さを考察します。試験で得られる結果は、使用する試験、つまり試験力とその時間、圧子の種類(形状/材質)、試験方法の適応によって異なります。使用する硬さ試験は、材料の種類、部品のサイズ、状態によって異なります。そのため、使用する試験方法は常に得られた結果とともに示す必要があります。さまざまな標準があり、正しく実施すると信頼性の高い結果を確保できます。試験時間などの標準値からの変更は、硬さレポートに記録する必要があります。硬さ試験では、精度と再現性を確保するために、試験に影響を与えるパラメータを制御し続けることが重要です。

金属には押し込み硬さ試験を採用しています。このカテゴリで最も一般的な試験はロックウェル、ビッカース、ブリネル、ヌープです。ロックウェルの

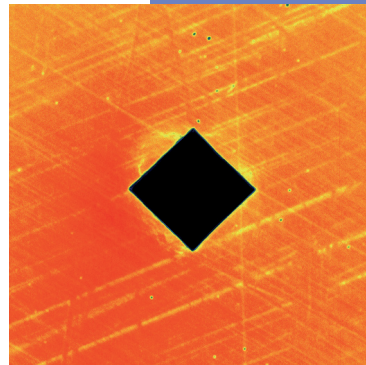
場合、硬さの測定値として圧痕の深さが使用されますが、ビッカース、ブリネル、ヌープの場合は、圧痕の大きさの光学的測定値が使用されます。あらゆる種類の試験にさまざまな規格があり、実際の硬さ試験の手順と要件が説明されています。

硬さ測定は一般的な品質管理として、加工後または熱処理後の材料に関する情報を提供できます。硬さ試験はジヨミニ試験による鋼の焼入れ性、表面焼入れ鋼の硬化層深さ、溶接性能の制御に使用されます。また、硬さと降伏応力/極限引張強さには関連性があり、硬さ試験では機械特性の予測が可能です[1,2]。また、セラミック/サーメット/焼結カーバイドなどにも使用できます。ここでは、ビッカース硬さ試験とPalmqvistの式に基づく関係を使用して破壊靱性(K_{IC})を測定できます[3]。

その他のカテゴリーの硬さ試験:

- 金属の動的試験に、ハンマーのリバウンドの高さを硬さの測定に使用する反発硬さ試験があります。
- 鋳物の場合、より硬い鋳物がより軟質なものに傷をつけるというスクラッチ試験があります。
- 計装化押し込み試験(IIT)では、硬さと弾性率の両方を正確に測定できます。試験力の負荷および除荷の間、試験力変位曲線が弾性率測定のために記録されます。

- ショア(デュロメータ)、ロックウェル、ボール押し込み試験、バーコ



Automatic Tester DuraVista-40

ル硬さなど、プラスチックの硬さ試験にも異なる押し込み試験が使用されます。

このアプリケーションノートでは、金属の硬さ試験、機械的試料作製、押し込み硬さ試験の結果に影響を与える様々なパラメータに焦点を当てます。



2. 試料作製の難しさ

問題 1

試料作製時に平坦で平行な表面を得ることは難しい場合があります。(図1を参照)

たとえばビッカースでは(5ページを参照)、測定された対角線はお互いに5%を超えてはなりません。また、圧子は試験面に対して垂直であり、信頼性の高い結果を得るためには2°以上の傾きがあってはなりません。

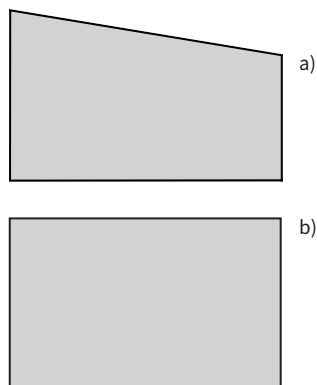


図1:
a) 平坦でない試料、b) 平坦で平行な試料のスケッチ

解決方法: 1

最適な方法は、固定具を使用して、圧子が表面を垂直に貫通するように試料を保持することです。(図2を参照) 治具を利用できない場合は、機械研磨によって平坦で平行な端面を得る必要があります。(

図1 b 参照) 可能な限り平面平行な試験片を実現するために、平面がある固定試料板A(図3を参照)を用いて、両面粘着テープで試料を固定します。図3Aを使用するときは、試料がほぼ同じ高さに切断されていることが重要です。図3B(図3参照)を使用する時は、試料表面の最終的な平面平行度は、作業者が試料をホルダーを固定する方法によって大きく異なります。

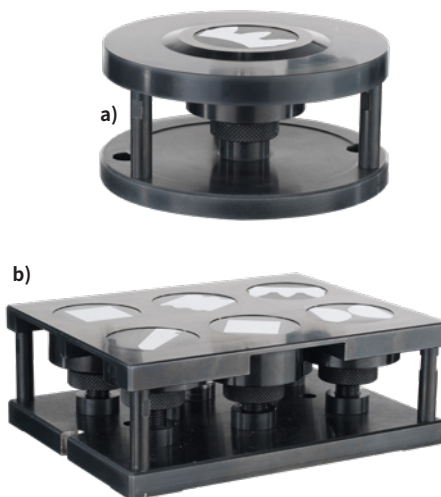


図2: 硬さ試験中に試料を保持する固定具、a) 1 x 直径 40 mm、b) 6 x 直径 30 mm。

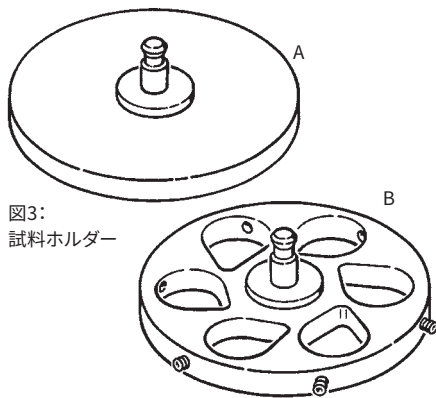


図3:
試料ホルダー

問題 2

試料の表面仕上げが粗すぎる場合、特に自動化装置を使用しているときに圧痕のコーナー部の評価が問題になる可能性があります。きれいな反射面が必要です。また、表面は試験する材料の特性にほとんど影響を与えないように試料作製されます。必要な表面作製は、試験の種類と適用される試験力によって異なります。マイクロ硬さ(1 kgf未満の試験力)はより研磨された表面を必要とします。ロックウェル試験は、圧痕の深さが測定され、圧痕形状の光学的測定でもないため、表面作製にそれほど敏感ではなく、試料作製が必要ないか、粗研磨された表面で十分です。

表面が粗すぎる場合、自動硬さ試験を使用するときに、研磨からの引っかき傷が圧痕サイズの誤読を引き起こす可能性があります。より軟質な材料は、より硬い材料と比べると同じサイズの砥粒が表面に変形/傷を発生させやすくなるため、試料作製のアーチフ

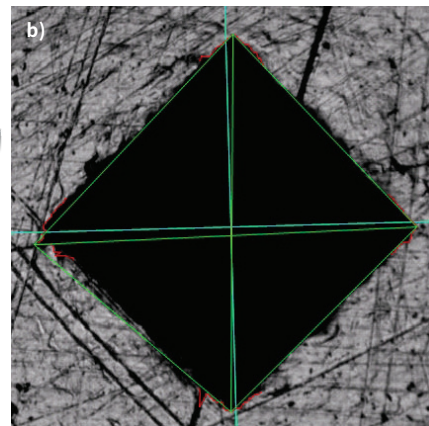
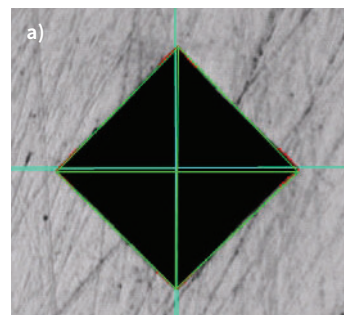


図4 同じ粗い作製表面(9μm)上のビッカース圧痕。a) 焼入れ鋼715 HV 10と b) 0.5%炭素鋼180 HV10。ここでは、表面が粗いため炭素鋼の圧痕の17%が廃棄されましたが、焼入れ鋼では問題は発生しませんでした。

ァクトに対する感度が高くなります。(図4を参照)

解決方法: 2

琢磨された表面を使用してください。図5は、MD-Plus布とダイヤモンド懸濁液ダイヤプロPlus 3 (3 μm)による最終琢磨後の表面を示しています。

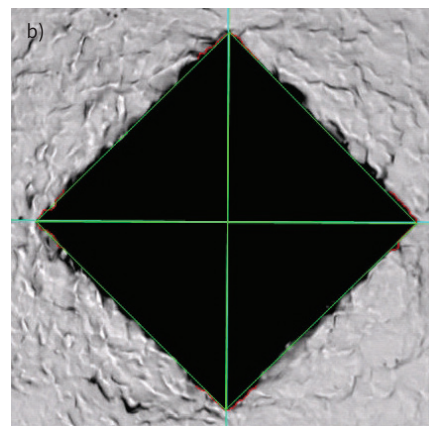
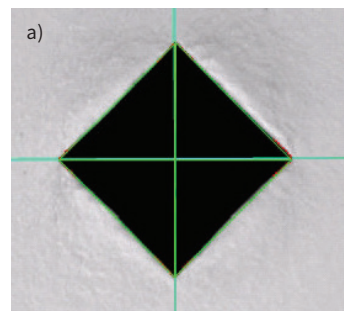


図5:
滑らかな表面のビッカース圧痕、MD-Plus/ダイヤプロPlus、3 μm。

a) 焼入工具鋼、715 HV 10。
b) 0.5%炭素鋼、180 HV 10。

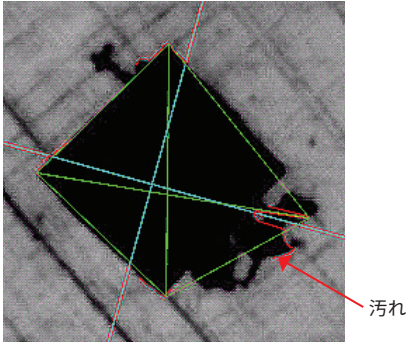


図6: 自動光学読み取りを妨げる汚れ。材料は焼入工具鋼。ピッカース硬さ試験。試験力0.5 kg f¹。ダイヤモンド懸濁液ダイヤプロ Allegro/Largo 9 (9 μm)を使用したMD -ラルゴ作業面での最終試料作製。

問題 3

機械的な試料作製後に試料が適切に洗浄されないまま、硬さ試験の光学的な読み取りが行われる場合、自動読み取りで圧痕のコーナー部が誤って認識されることがあります。

解決方法: 3

試料が適切に洗浄されていることを常に確認します。これが守られない場合、汚れや研磨布の繊維により、読み取りが難しくなる可能性があります。

問題 4

激しくエッチングされたサンプルの場合、圧痕のコーナー部を評価することが困難なため、不正確な硬さ値になることがあります。

解決方法: 4

エッチングは、反射性の悪い表面になるため、できるだけ避けてください。エッチングが必要な場合は、くぼみの角を識別できるように、軽いエッチングが好ましい。溶接を評価するときなど、エッチングが必要になる場合もあります。(図20を参照)

3. 原理の説明

ピッカース、ブリネル、クヌープのように、くぼみのサイズが光学的に決定さ

1このアプリケーションノートでは、SIシステム使用前に導入された単位であるkgf (キログラム) で試験力を示しています。(1 kgf = 9.81N)

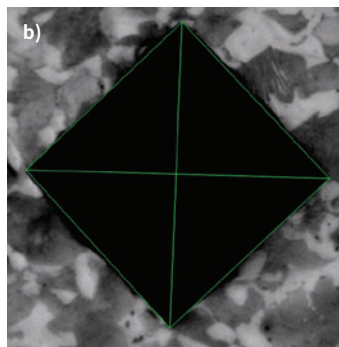
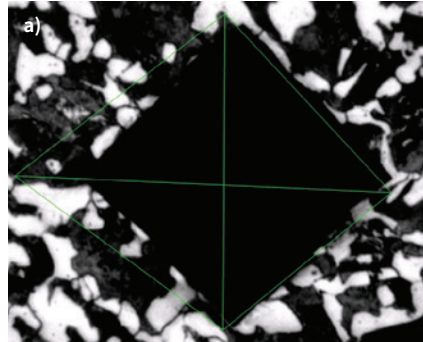
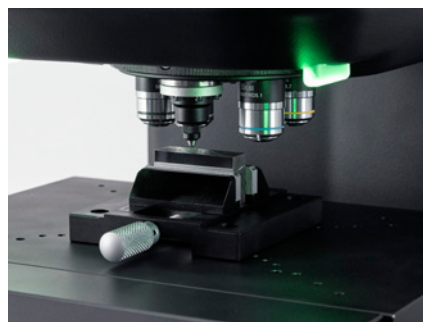


図7: ピッカース圧痕、試験力1 kgf。材質は0.5%炭素鋼。ダイヤモンド懸濁液ダイヤプロPlus 3 (3 μm)を使用したMD - Plusでの最終試料作製工程。3%ナイトルでエッチング。a)濃いエッチング b)軽いエッチング。



Simple fixture in DuraVista-40

れる硬さ押し込み試験の場合、硬さは、加えられた試験力を接触面積で割ったものとして定義されます。(ヌープの場合は投影面積です。) 試験は、測定された対角線/直径の平均値が硬さ値に変換される表を使用して手動で実施できます。または、式に基づいて硬さ値を計算するか、自動硬さ試験機で硬さを自動的に決定します。

試験力の大きさに応じて、押し込み硬さ試験はマクロ (一般試験または汎用試験とも呼ばれる) とマイクロ硬さ試験に分けることができます。マクロ硬さ試験では1 kgf (9.81 N) 以上の試験力、マイクロ硬さ試験では1 gfから1 kgfまでの試験力範囲に対応します。

要求される表面状態は試験の種類や使用される試験力によって異なります。マクロ硬さの場合、通常はミル加工または粗研磨された表面で十分です。場合によっては、試料作製は全く必要ありません。

表1: 異なる押し込み硬さ試験の表面要件。

試験	表面準備
ロックウェル HR	マクロ硬さ試験 - 表面作製不要、または - 粗研磨
ブリネル HBW	マクロ硬さ試験 -ミル加工、 -粗研磨または - 琢磨
ピッカース HV	マクロ硬さ試験 - 粗研磨 マイクロ硬さ試験 - 琢磨 - 電解研磨
ヌープ HK	マイクロ硬さ試験 - 高質な琢磨



マイクロ硬さ試験の場合、琢磨された表面が必要です。非常に小さな試験力の場合は、酸化物研磨または電解研磨が必要になることがあります。

表面粗さは、表面凸凹と比較して圧痕が大きい限り、圧痕の大きさにほとんど影響を与えません[1]。試料の表面作製は材料の特性を変化させないことが重要です。つまり、作製後の表面の変形は最小限に抑える必要があります。

硬さスケールの変換は慎重に行う必要があります。可能であれば、変換を避け、必要な方法で硬さ試験を実施してください。試験データが十分に確立されていない場合、硬さ測定値から

材料強度への変換にも同じことが言えます。

ロックウェル(HR)

ロックウェルは生産管理と測定値を直接読み取ることを目的に開発された迅速な方法です。ロックウェル硬さ(HR)は、圧子が既定の試験力により試料材料に押込まれた後の圧痕の深さを測定することで算出されます。圧子材料は、使用するスケールによって円錐形のダイヤモンドボールまたは焼結カーバイドボールが使用されます。初試験力は、本試験力をかける前とアンロードされたその後に適用します。硬さ値の読み取りは、初試験力がまだ適応されている間に実行されます。図8を参照してください。

ロックウェル試験には2種類あります。通常のロックウェルの場合、初試験力は10 kgf、本試験力は60 kgf、100 kgf、150 kgf、スーパーフィシャルロックウェルはより薄い試料に使用され、初試験力は3 kgf、本試験力は15 kgf、30 kgf、45 kgfです。ロックウェル試験では、押込面積ではなく圧子の動きを使用して硬さを測定するため、一般的に試験対象の材料を樹脂に埋込みません。ただし、その影響は使用する機械によって異なります。

ブリネル(HBW)

ブリネル押し込み試験では、タングス

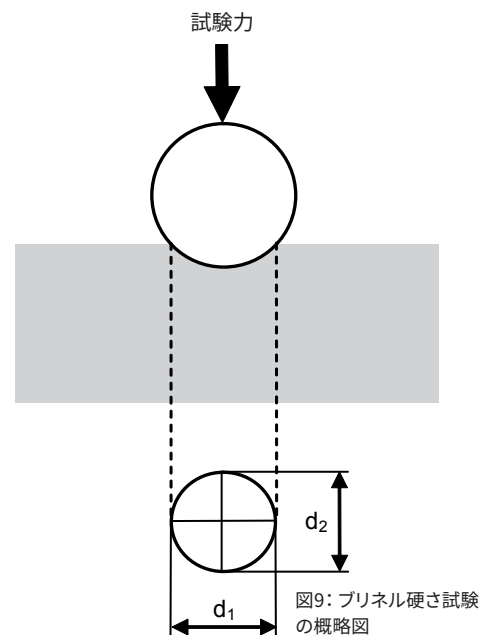
テン

カーバイドボールが比較的大きな圧痕を残します。記号にはHBW(Wはタングステンの化学記号)が使用されます。硬さを決定するために、圧痕の大きさが光学的に読み取られます。典型的な用途は、その他の方法(ロックウェル/ビッカース)で代表的結果を得るには、大きくて不均質すぎる、または粗すぎる構造要素を持つ鍛造物と鋳造物です。

試験力範囲: 1~3000 kgf

圧子種類

1/2.5/5/10 mm 直径のボール。



Rockwell Tester, DuraVigo-150



Universal Tester, DuraVersa-100

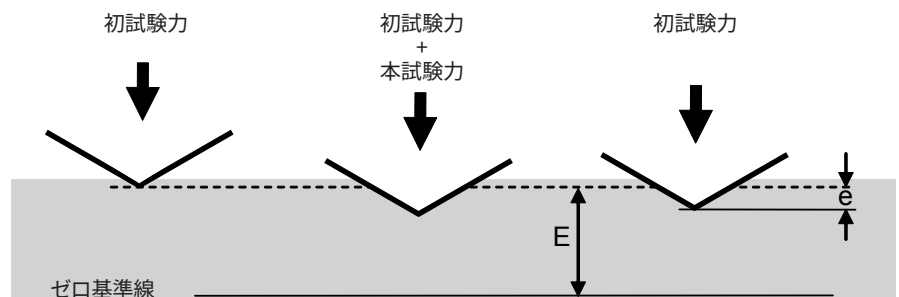
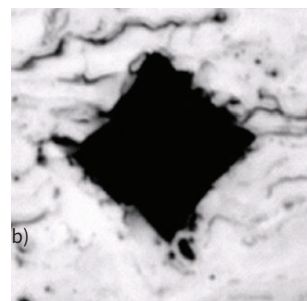
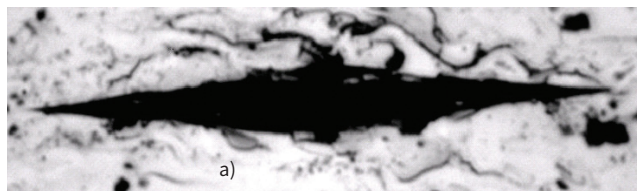


図8: ロックウェル硬さ試験の概略図。ロックウェル式: ロックウェル硬さ $HR = E - e$ 。

「E」は、100 (ダイヤモンド) 又は 130 (ボール) 単位の定数を指す。「e」は、0.002 mm の単位での貫入深さ。

図13: プラズマ溶射皮膜における
a)ヌーブとb)ビッカース圧痕の圧痕サイズの比較。

試験力 0.5 kgf。最後の研磨工程は、Nap布及びダイヤモンド懸濁液、ダイヤブロ Nap B1(1μm)を用いて行った。



ビッカース (HV)

ビッカース硬さ (HV) は、既定の試験力でピラミッド形のダイヤモンド圧子をサンプル材料に押し込むことで残される圧痕の対角線長さを測定することで算出されます。図10を参照ください。硬さを決定するために、圧痕の大きさが光学的に読み取られます。硬さ値は、2つの測定された対角線の平均値を決定した後、表または公式から取得できます。または、自動硬さ試験機から直接取得できます。ビッカーススケールの範囲は10 gf ~ 100 kgfです。ビッカース硬さ試験では、得られる硬さ値は試験力の影響を比較的受けません。

ビッカース圧痕の間隔については、図23を参照してください。

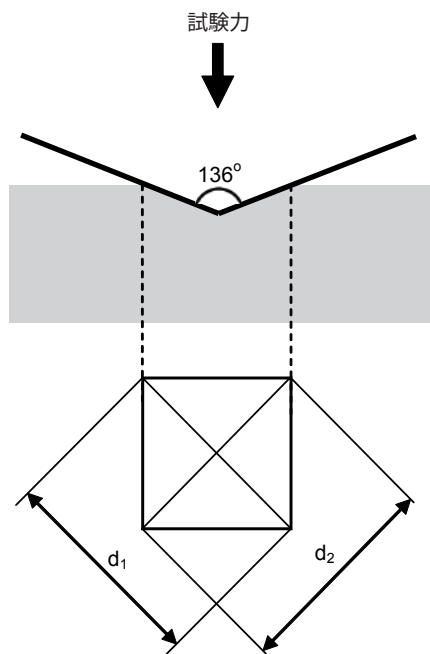


図10:
ビッカース硬さ試験の概略図。

ヌーブ (HK)

この方法は、主に脆性材料(セラミックなど)の亀裂を克服するだけでなく、薄層の試験を容易にするためにビッカース圧子に代わる方法として開発されました。圧子には非対称なピラミッド形のダイヤモンドを使用します。図11を参照ください。圧痕の大きさは長い対角線の測定のみに基づき、硬さを決定するために光学的に読み取られます。

ヌーブの試験力範囲は10 gf ~ 1 kgfです。より長い対角線はより浅い圧痕を生じさせるため、ヌーブはビッカースと比較して表面作製に敏感です。圧痕間隔は材料によって異なります。図12を参照ください。非常に小さな試験力にヌーブを使用すると、試験力の減少に伴い硬さ値が増加します。

同じ試験力でのヌーブとビッカースの圧痕サイズの比較は図13に示されています。

ブリネル、ビッカース、ヌーブの場合、対角線長さは少なくとも20 μm以上あることが重要です。これが守られない場合、測定的不正確さが顕著になります。

マイクロ硬さ試験

マイクロ硬さ試験の場合、前述のように1 kgf未満の試験力が使用され、非常に小さな圧痕が生じます。

マイクロ硬さ試験は、マクロ押し込み試験には薄すぎる、または小さすぎる材料まで硬さ試験を拡張します。特定の相、構成要素、領域、大きな硬さ勾配

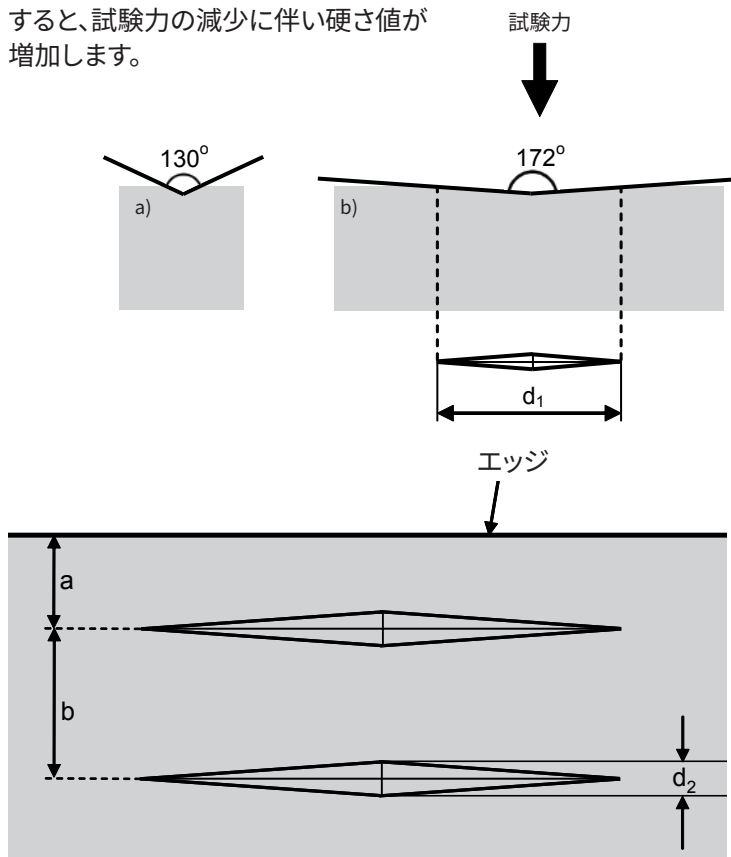
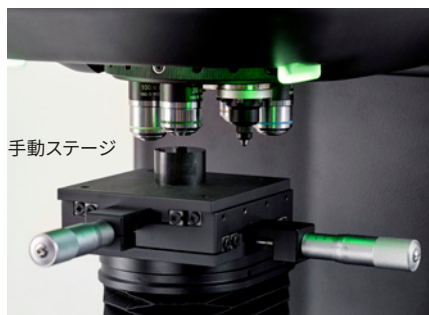


図11:ヌーブ硬さ試験の概略図
a)側面図
b)正面図

図12:ヌーブの圧痕間隔は、短い対角線 d_2 に基づく。aとbについては、下の表(ISO 4545)で説明されている。

	a	b
鋼鉄・銅・銅合金の場合:	$3 \times d_2$	$4 \times d_2$
軽金属、Pb、Snおよびそれらの合金	$3.5 \times d_2$	$7 \times d_2$



が試験されるため、試験力範囲は1 gf～1000 gfです。

例としては、非常に薄い層、小さな部品、コーティング、マイクロ溶接、粉末金属粒子、個々の構造要素または結晶粒などがあります。

表面の反射性が低下し、コーナー部が見えにくくなる圧痕ができるため、硬さ試験前にエッチングを行わないことをお勧めします。ただし、ライトエッチングは、個々の構成要素に対して硬さ測定を実施する場合、異なる相/構造要素を区別するのに役立ちます。

また、硬さ試験で使用される試験力が小さいほど、機械的、化学的、電気化学的に実施可能な表面作製に対する要求が高くなります。作製中の試料への加熱処理や冷却処理により試料の表面特性に変更が加えられないようにすることが重要です。切断や研磨の際に発生した変形は試験力に応じて、6 μm、3 μm、1 μmの大きさまで琢磨して除去する必要があります。300 gf [4]未満の非常に小さな試験力の場合、表面に全く変形がないことを確認する必要があります。また、完全に破損のない表面を得るために、試料に酸化物研磨やさらには電解研磨が必要になる場合もあります。軟質または延性の材料 (HV120～150未満の材料など) は、試料作製からのあアーチファクトの影響を受けやすいので特に注意が必要です。

信頼できる結果を得るには、平面の試験面を用意することが重要です。試験片を固定具に配置すると、圧子が試験面に対して垂直になるようになります。

4. 試料作製に関する推奨事項

切断

切断する際、試料にできる限り変形が

生じないようにしてください。そのため、材料の焼損を防止し、以下の手順に従って可能な限り短い試料作製時間を確保するために、対象となる材料に適した切断ホイールと送り速度の組み合わせを選択することが重要です。

埋込み

テスト¹では、樹脂に大きな影響がないことが示されています。30 kgf 以下の試験力 (ピッカース) については図14を参照ください。(テストは2つの熱間埋込み樹脂、デュロファスト (鋳物充填剤を含むエポキシ) とマルチファスト (木粉充填材を含むフェノール埋込み媒体) および1つの冷間埋込み樹脂、クラロシット (アクリル樹脂) を使用して実施されました。)

薄いコーティングや表面処理鋼に縁ダレ防止が必要な場合は、充填剤入りの樹脂を使用する必要があります。硬化鋼にはデュロファストが適しています。軟質材料/コーティングには (400

HV未満) レボファスト (鋳物およびガラス充填剤を含むメラミン樹脂) が適しています。

研磨・琢磨

研磨と琢磨方法は、試験材料によって異なります。鉄系金属の場合の一般的な方法を表2に示します。浸炭焼入れ鋼など、ほとんどの鋼種/熱処理に適しています。最終仕上げは、3 μm のダイヤモンド懸濁液を使用します。これは、

硬さ試験に適した反射表面を提供する迅速な方法です。より軟質なアルミニウムについては、表3の方法を推奨します。図15は、99.95%アルミニウムの切断後、およびさまざまな機械研磨工程後の硬さの自動評価を示しています。異なる材料の試料作製については、e - Metalog (www.struers.com) を参照してください。表2および表3のデータは、ホルダーにクランプされた直径30 mmの6個の埋込み試料に有効です。

図15: ピッカース硬さ試験、99.95%アルミニウムのHV 1、a) 切断直後、b) MD -ラルゴとダイヤモンド懸濁液、ダイヤプロ Allegro/Largo 9 (9 μm) での精研磨後、c) MD - Molと

¹テストは0.5%の炭素鋼と焼入れ工具鋼を使用して実施し、埋め込まれた鋼試料の直径はそれぞれ直径25 mmと32 mmだった。全ての埋込みは、直径40 mmであった。図14の各カラムは3回の試験が行われた12個の圧痕結果を示す。クラロシットは1回だけ試験が行われた。

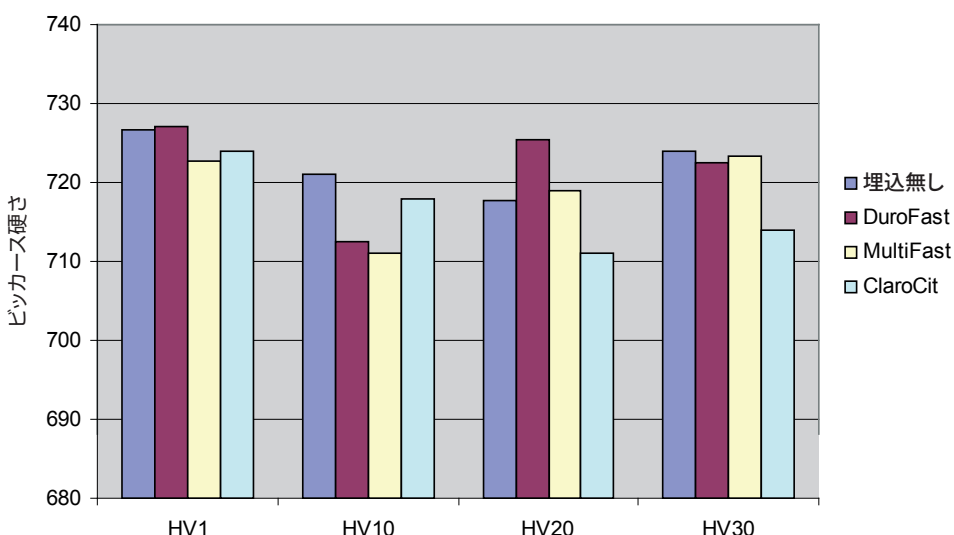


図14: 樹脂が硬さ試験に与える影響を調査した結果。ここでは、試験中に試料をアンビル上に直接置いた。材料は焼入れ工具鋼を使用した。ダイヤモンド懸濁液、DiaPro Plus 3 (3 μm) とMD-Plus 布で最終仕上げ工程を行った。

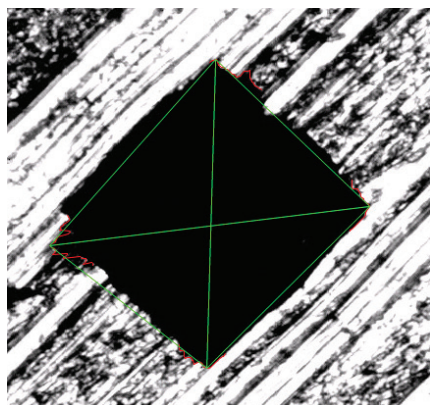
工程	PG	FG 1	P 1
作業面	MD-ピアノ220	MD-アレグロ	MD-Plus
砥粒の種類		ダイヤモンド Allegro/ Largo9	ダイヤモンド Plus 3
潤滑剤の種類	水		
回転速度 [rpm]	300	150	150
力 [N]	240	240	180
ホルダーの回転方向	>>	>>	>>
時間 [分]	1	3	3

表2: 鋼材の試料作製方法。
直径30 mmの6個の埋込み試料に有効です。

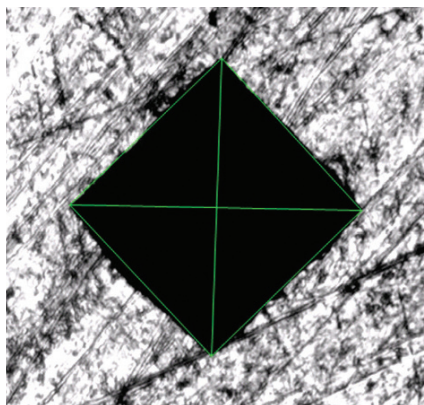
工程	PG	FG 1	P 1	OP
作業面	SiC研磨紙# 320	MD-ラルゴ	MD-Mol	MD-Chem
砥粒の種類		ダイヤモンド Allegro/ Largo9	ダイヤモンド Mol R3	OP-Uノンドライ懸濁液 0.04 μm
潤滑剤の種類	水			
回転速度 [rpm]	300	150	150	150
力 [N]	120	180	150	90
ホルダーの回転方向	>>	>>	>>	><
時間 [分]	1	4	3	2

表3: 軟質アルミニウムの試料作製方法。直径30 mmの6個の埋込み試料に有効です。

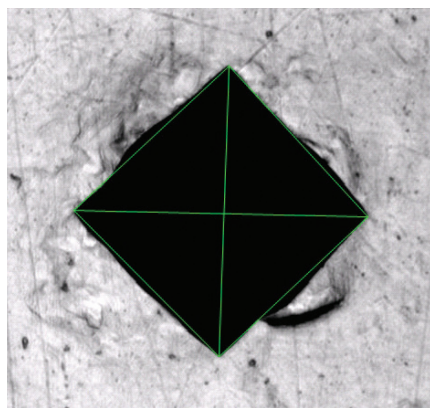
精密に琢磨された表面、すなわち酸化物研磨を使用する場合、OP - UノンドライではOP - Sより軽微な浮彫が生じることに注意してください。



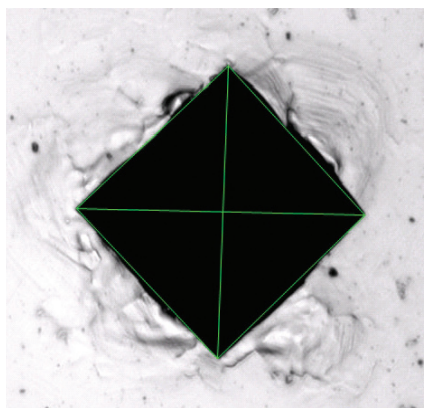
a)



b)



c)



d)

ダイヤモンド Mol 3 (3 μm)での琢磨後、d) MD-ChemとOP-Uノンドライ懸濁液での酸化物研磨後(コロイドシリカ0.04 μm)

5. 製品

硬化層深さ

耐摩耗性を高めるため、鋼はギア、ノズル、エンジン部品などの可動部品や回転部品の用途向けに肌焼きされています。

硬さの変化の定量的尺度は、横方向の硬さによって得られます。

鋼の硬化層の表面厚さを測定するために硬化層深さ(CHD)測定が使用されます。手順は標準化されており、硬化層深さの評価は高周波焼入、浸炭、窒化など、表面硬化時に使用される方法によって異なります。

ほとんどの場合、ビッカース硬さ試験がマイクロ硬さの試験力範囲で使用されます。(特定のケースでは、ヌープが使用されることもあります。)

薄いコーティングまたは熱処理された表面を測定する場合、縁ダレ防止が必要です。CHDを実施すると、硬さが減少するにつれて圧痕のサイズが大きくなります。図16を参照ください。圧痕間の最小許容距離を維持するために(鋼の場合、3 x 対角線)、自動圧痕

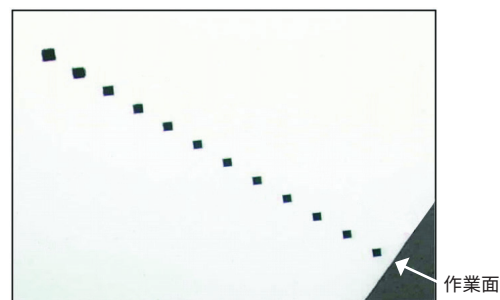


図16: 硬化層深さ測定。試料の中心に向かって圧痕のサイズが大きくなることは、材料の硬度が低下していることを示します。

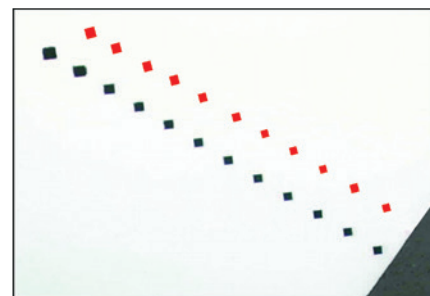
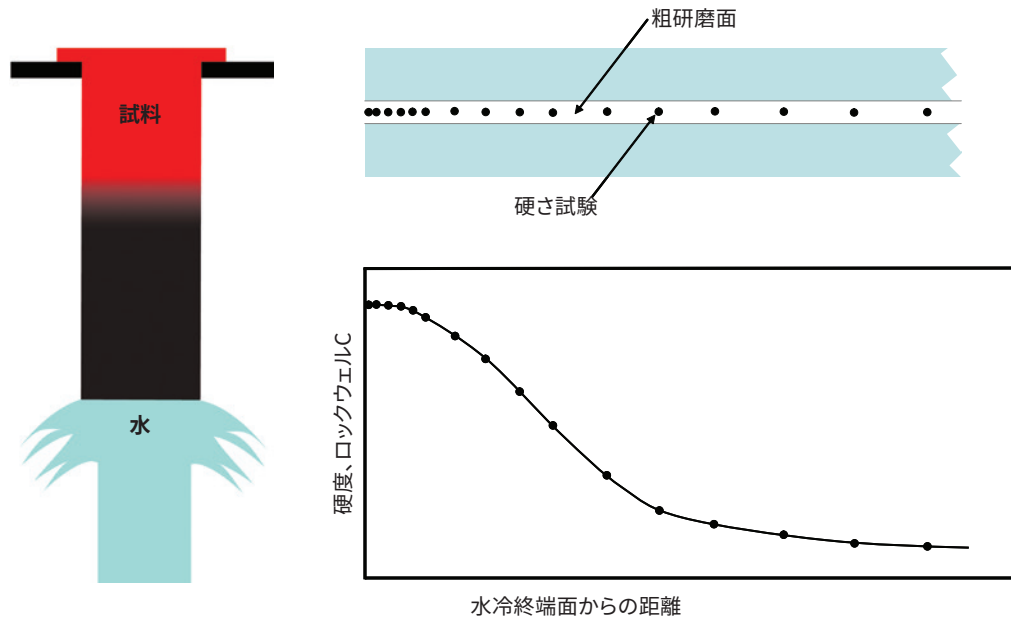


図17: ジグザグパターンを形成する圧痕。

図18:ジョミニー試験の概略図。
(例:ジョミニー番号: J 15 = 35 HRCの場合、硬度
35 HRCは水冷端から15 mm
の距離で測定されることを
意味します。)



間隔を使用できます。圧痕のサイズが大きくなると、圧痕間の距離も長くなります。

従来、硬さ限界に到達するには多数の圧痕が必要でした。ただし、最新の自動硬さ試験機では、設定されている試験箇所の数に関係なく、定義されている硬さ数値に到達すると自動的に停止できます。

圧痕は互いに影響を与えてはならないため、最小限の圧痕間隔が使用されています。試験シリーズの圧痕の数と精度を上げるために、圧痕を互いに対して変位させ、ジグザグパターンを形成することができます。図17を参照ください。

ジョミニー試験

ジョミニー試験では、鋼材の焼き入れ性を試験します。特定の形状を有する試験用の棒が、オーステナイト化温度まで加熱され、その後、標準化された強さで水が噴射されて端部が冷却されます。図18を参照ください。冷却後、棒の片側が研磨され、急冷された側から一定間隔で硬さ（HV 30またはHRC）が測定されます。図19を参照ください。冷却率（水冷端からの距離）によって、測定される硬さに差が生じます。

溶接

通常、溶接の硬さ試験では、一連の圧痕を試料の形状に類似した比較的大きな試料表面で実施する必要があります。オーバービューカメラを使用すると、試料の表面全体を見て、圧痕を実施する位置を簡単に表示できます。溶接規格にHV 5またはHV 10の使用が規定されています。

溶接検証用硬さ試験の圧痕の位置の例を図20に示します。硬さ試験の前に、試験面は3 μmまで研磨され、そ

の後、試験前にわずかにエッチングされます。

溶接の試料作製については、この主題に関するアプリケーションノートを参照してください。

6. 制御パラメータ

硬さ試験は、すべてのパラメータが制御されている場合に実施しやすいと考えられています。このため、この主題に関する基本的な知識を持つことが推奨されます。硬さ試験に影響を与えるパラメータの概要を以下に示します。

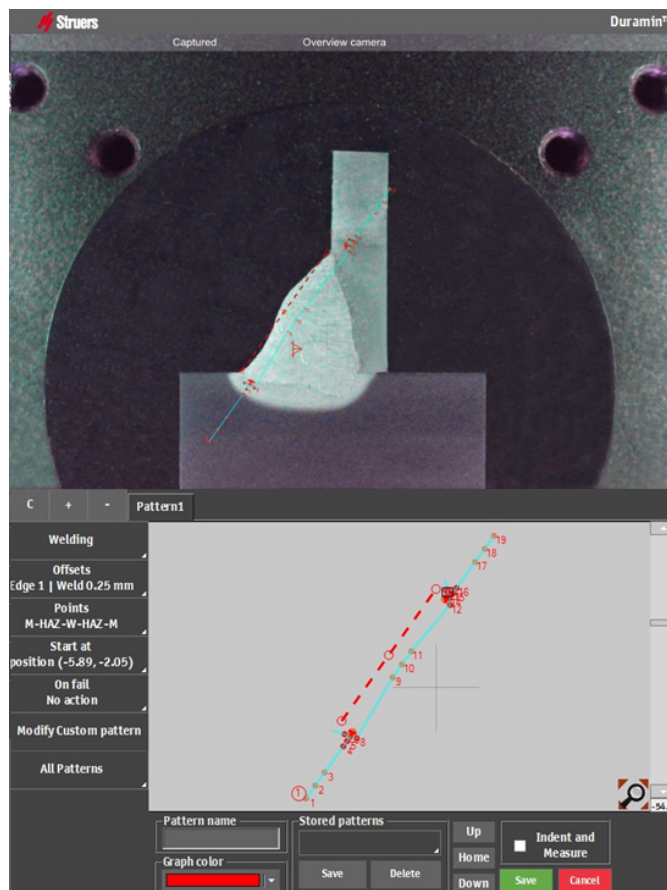


図20: オーバービューカメラを使用して溶接部に試験箇所を配置。

試験力	圧痕	圧子	その他
精度	回転速度	横方向の動き	アンビル、サポートテーブル
再現性	慣性	形状ずれ	スピンドル
	角度：	損傷	試料のたわみ
	時間	材質	装置のレベリング
	間隔		

表5：装置による要因

異なるパラメータは硬さ試験に影響を与える5つの主要要素に分かれており、装置、測定、材料、オペレーター、環境に関連しています。図21を参照ください。これらの要素の影響を排除、最小化、または少なくとも考慮に入れることが重要です。これについては以下で説明します。

オペレーターの要因

オペレータは、硬さ試験機を可能な限り効率的に使用し、試験中に必要な作業を最小限に抑えるために、硬さ試験機の適切な操作、表面要件、固定技術を理解する必要があります。

環境要因

硬さ試験は、滑らかできれいな反射面で実施してください。（ビッカース、ブリネル、ヌープに有効。）温度や湿度などの一定の条件下で試験を実施することが重要です。光学的な読み取りのある圧子の場合、照明が圧痕サイズの解釈に影響を与えることを考慮する必要があります。したがって、硬さ試験機は、照明を一定に保つために暗い環境に置くことが望ましいです。周囲の振動は測定に影響を与えるため、最小限に抑える必要があります。試験力が小さいほど振動の影響を受けやすくなります。このため、硬さ試験機は特別な作業台（花こう岩製のテー

ブルなど）に設置することを推奨しています。作業面には、スケール、汚れ、オイル、グリースなどいかなる種類の汚染もあってはなりません。薄い潤滑膜は摩擦係数を低下させ、所定の試験力に対してより大きな圧痕を生じさせます。つまり、硬度がわずかに低下します。ここでは、比較可能な結果を得るために、すべての測定で同じ表面条件を維持することが重要です。

装置による要因

装置の要因では、試験力、圧痕、圧子が考慮されます。適用される試験力に必要な精度と再現性を確保するには、機械的な重りを使用するシステムよりも精度が高く、システム内に摩擦や慣性の影響が生じない、ロードセル技術が推奨されます。適用される試験力の精度要件を満たすために、システムを定期的に校正することも重要です。日常業務では、これは主に間接的な検証であり、さまざまな硬度レベルで使用できるキャリブレーションブロックを使用して、使用された硬度範囲でのキャリブレーションを検証できます。圧痕に影響を与えるパラメータは表5に記載されています。圧痕の角度は垂直線から（最大）2度を超えてはなりません。逸脱があると、エラーが発生します。また、圧子と試料の間

に横方向の動きがあってはなりません。可能であれば、試料をバリのないアンビルに固定してください。

圧痕間の間隔は、圧痕が互いに影響を与えない程度の大きさにする必要があります。圧痕周辺の塑性変形はほとんどの材料を硬化させるため、圧痕が近すぎると材料の硬度が高く見えることがあります。平坦なパンチ（黄）の塑性域（青領域）生成の原則を図22に示します。

このため、さまざまな試験の規格で圧痕間の間隔とエッジに向かう間隔の仕様が規定されています。ISOが提供するビッカース硬さ試験に対する指示は図23に示されています。

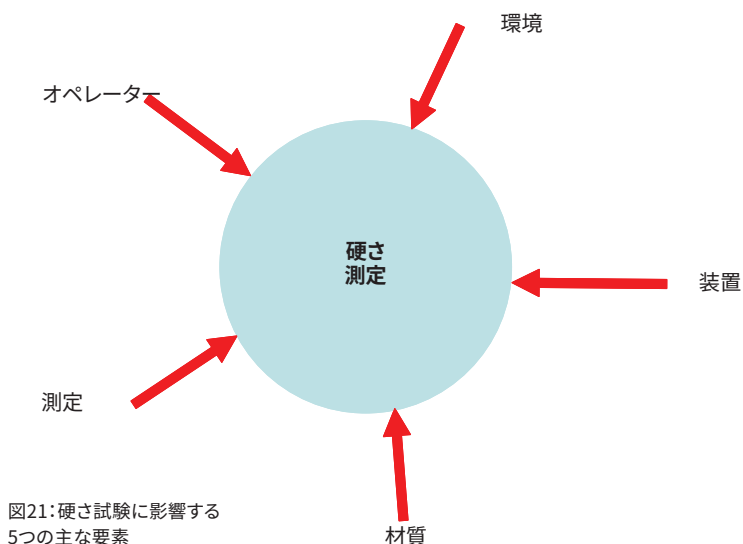


図21：硬さ試験に影響する5つの主要要素

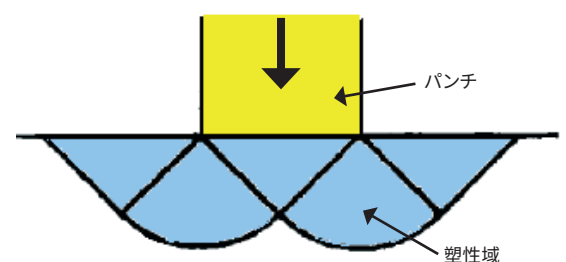
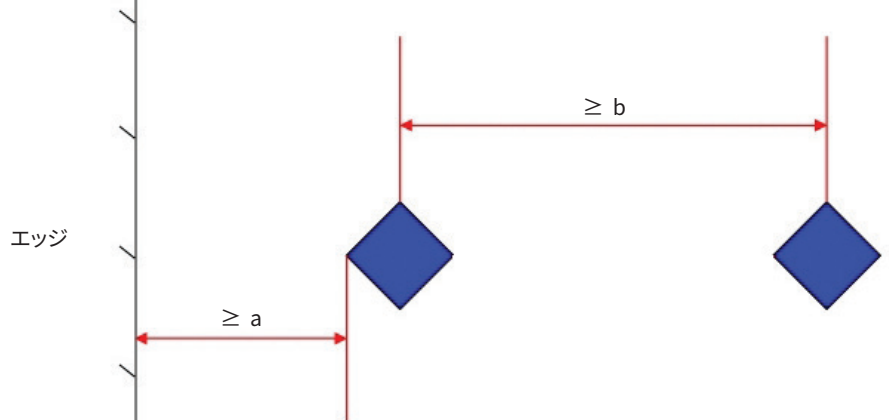


図22：Prandtl提供、平坦な剛体パンチ（黄）の圧痕から生じた塑性域（青領域）のすべり線場



	a	b
鋼鉄・銅・銅合金の場合:	$2.5 \cdot d_m$	$3 \cdot d_m$
軽金属、Pb、Snおよびそれらの合金	$3 \cdot d_m$	$6 \cdot d_m$

図23:ISO 6507、a、bに従ったビッカース圧痕の間隔は下の表で説明されている。ここで、 d_m は圧痕の平均対角線を示す。

材料要因

材料の要因は以下のとおりです。

- 微細構造の不均質性
- 試料作製の品質
- 試料表面の 反射性/透明度
- 材料の種類
- 材料の処理
- 材料の形状
- 埋込み用樹脂

使用手順	検証システム	その他
適用方法 (HV、HB、HR、HK)	負荷システムの校正	振動
方法の実行可能性	対物レンズの倍率	汚れ、ほこり、破片
対象規格 (ASTM、ISO、JIS)	対物レンズの分解能	
	低画質	
	照明の均一性	

表6:測定要因

適切な試料の厚さが必要です。圧痕が試料全体に浸透しないようにしてください。硬さ試験後、試験片の背面に目に見える変形がないことが重要です。このため、試料の厚さは押し込み深さの10倍以上(ロックウェル)でなければなりません。ビッカースの場合、圧痕の対角線長さの1.5倍以上が必要です。

球形および円筒形の表面を測定するときは、補正を行う必要があります。補正係数は、凹面又は凸面である表面によって決まります。これらの補正係数は表に記載されているか、新型の自動硬さ試験機に組み込まれています。円形試料の場合は、特殊アンビルを使用し、凸面には補正係数を使用する必要があります。

適切な種類の硬さ試験を選択する場合、材料の全構造を示す圧痕を得るために、圧痕領域が試験対象の材料に存在するすべての異なる構造要素を網羅していることが重要です。例えば、鑄造構造体は不均質であり、異なる構造要素を網羅するにはより大きな圧痕が必要のため、ブリネルを使用して硬さ試験を実施することをお勧めします。

測定要因

測定係数は表6に示されます。硬さ試

験機を複数の異なる硬さ試験に使用する場合、各試験を個別に検証する必要があります。検証を行う前に、照明が読み取り値に影響しないことを確認する必要があります。

光学的な読み取り値に基づいた硬さ試験機の場合、エラーを最小限に抑えるために、可能な限り高い試験力を使用する必要があります。圧痕の対角線長さ/直径長さは $20 \mu m$ 以上にする必要があります。ビッカースの場合、同じ圧痕の対角線長さの差は $\pm 5\%$ 未満でなければなりません。最適な結果を得るために、可能であれば、対角線はレンズの視野の25~75%であるべきです。肌焼きなど、大きな硬さ勾配を判断する場合、この要件を満たすことが困難な場合があります。

信頼性の高い結果を得るためには、圧子に不具合や表面の欠陥がないことが重要です。圧子表面に欠陥、亀裂などがないことを確認するために(ビッカースISO 6507)、参照ブロック内の圧痕を目視で検査するなど、日常検査を実施することが望まれます。圧子に欠陥があると、信頼性の高い結果を得ることができません。



ロックウェル試験機、デュラミン-160

ビッカースは、圧子が1つのみで試験力範囲(マイクロ/マクロ硬さ範囲)が広い、最も汎用的な方法です。すべての材料と多くの用途(硬化層深さ測定、ジョミニー試験、溶接、セラミック、コーティング)に使用できます。

7. どの方法を使用すればよいですか？

が、比較的良好な表面仕上げが必要です。

ヌープの試験力範囲はピッカースより限られる(微小硬度範囲)ため、特にセラミックや薄いコーティングに適しており、良好な表面仕上げが必要です。

ブリネルは、鋳物や鍛造物など、粗い構造要素を含む金属や不均質な金属に適しています。特に鋳鉄、鋼、アルミニウムなどに使用される高い試験力と独特な圧子を使用するため、より大型の試料に制限されます。

ロックウェルはほとんどの材料に使用できますが、高い試験力と独特な圧子を使用するため、通常は大型の試料にのみ使用できます。

詳しくは、ストルアスのホームページの「硬さ試験について」を参照してください。

www.struers.com/en/Knowledge/Hardness-testing

8. まとめ

硬さ試験は、材料の評価、製造工程の品質管理、研究開発作業において幅広く使われています。使用する硬さ試験方法は、用途に応じて選択する必要があります。試料作製レベルは、材料の特性と試験力に応じて選択する

必要があります。

実験によると、埋込樹脂は、少なくとも30 kgfまでのピッカース硬さ試験において重要な影響を受けないことが示されています。これは試料がアンビルに直接置かれている場合でも、固定具に置かれている場合でも、影響はありません。試験力が低いほど、より精密な表面作製が必要になります。軟質材料(約120 HV未満)は試料作製時にアーチファクトがつきやすいことを考慮する必要があります。



Struers ApS

Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
電話 +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk
www.struers.com

アプリケーションノート

硬さ試験と試料作製

Maria Lindegren, Struers ApS

謝辞

溶接例、図20および表4

は Institut de Soudure (フランス)、

Peter Bucan, Struers ApS

Jean - Marie Boccalini, Struers S.A.S. (フランス)

により提供していただきました。

参考文献

1. Tabor, D; "The Hardness of Metals ", Oxford University Press, 2007
2. Vander Voort, Georg F., "Metallography Principles and Practice ", ASM International, 1999
3. Palmqvist, S: "Method for determining the toughness of brittle materials, particularly sintered carbides", Jernkontorets annaler, volume 141, 1957
4. ASMinternational, volume 8
5. Rockwell: Applicable Standards: ASTM E18 / ISO 6508 / JIS Z 2245
6. Brinell: Applicable Standards: ASTM E10 / ISO 6506 / JIS Z 2243
7. Vickers: Applicable Standards
ASTM E384 – micro force ranges – 10g to 1kg
ASTM E92 – macro force ranges - 1kg to 100kg
ISO 6507 – micro and macro ranges
JIS Z 2244
8. Knoop: Applicable Standards: ASTM E384 / ISO 4545 / JIS Z 2251
9. Kay Geels, "Metallographic and Materialographic specimen preparation, light microscopy, image analysis and hardness testing", ASTM International, 2006

用語解説

ピッカース硬さ試験に関するその他の旧式の表記は、VHN (ピッカース硬さ番号) および DPN (ダイヤモンド-ピラミッド硬さ番号) です。
ヌーブ: 旧名称はKHN (ヌーブ硬さ番号) です。