Erklärung der Messunsicherheit anhand von Leeb-Härteprüfungen

Höhepunkte des Artikels (10 Minuten lesen)

- Die Analyse der Messunsicherheit wird angewandt, um Unterschiede in den Prüfergebnissen zu verstehen und die Fehlerquelle zu ermitteln.
- Die Messunsicherheit eines Leeb-Härtemesssystems besteht aus einer statistischen Komponente, einer Komponente, die dem Messgerät eigen ist, und einer Komponente, die sich aus der metrologischen Kette zwischen den nationalen Normalen und dem Anwendergerät ergibt (Rückführbarkeit).
- Die Unsicherheit ist keine statistische Analyse, die Genauigkeit, Spezifikation und Toleranzen, Fehler und Irrtümer werden von den Bedienern gemacht.
- Gute Praxis zur Verringerung der Unsicherheit.
- Die beste Praxis besteht darin, die besten Geräte mit den besten Kalibrierungen wie ISO/IEC17025 zu verwenden und die Auswirkungen der Inhomogenität der Proben zu reduzieren, indem 3-10 Messungen durchgeführt werden, um den Mittelwert zu berechnen, wobei zu beachten ist, dass die Standardabweichung eine wichtige Rolle bei der Berechnung der Unsicherheit spielt

Warum ist die Messunsicherheit bei der Härteprüfung von großer Bedeutung?

"Bei jeder Messung, selbst bei der sorgfältigsten, bleibt immer ein gewisser Zweifel", d. h. man kann nie zu 100 % sicher sein, dass der gemessene Wert der wahre Wert ist. Um diesen "Zweifel" zu messen und zu quantifizieren, verwenden wir die Unsicherheit. In der Alltagssprache drücken wir sie als "plus/minus" aus, z. B. ist die Stahlstange 2 Meter lang plus/minus 1 cm, was bedeutet, dass die Stange 2 Meter ± 1 cm lang ist, also 1,99-2,01. Man muss bedenken, dass das Maßband, mit dem der Stahlstab gemessen wurde, nach einem anderen Maßband oder Gerät hergestellt und kalibriert wurde, und jedes dieser Geräte hatte seine eigenen Unsicherheiten.

Bei Härteprüfgeräten ist die kombinierte Unsicherheit von größter Bedeutung, da sie den "Zweifel" über den gesamten Kalibrierungsprozess des Geräts hinweg berücksichtigt, bis das Endprodukt - ein Messfühler - kalibriert ist und die Übereinstimmung mit einer bestimmten Norm bestätigt wird. Die Sonden werden anhand von Prüfblöcken kalibriert und überprüft, die mit anderen Prüfgeräten gemessen und kalibriert wurden, die ebenfalls mit einer Unsicherheit behaftet sind, denn wie oben erwähnt, kann man nicht zu 100 % sicher sein, dass der Wert dem entspricht, den das Gerät bei jeder Messung anzeigt. Deshalb ist es wichtig, die kombinierte Unsicherheit zu kennen.

Die Messunsicherheit ist für jeden von Bedeutung, der qualitativ hochwertige Messungen durchführen und die Ergebnisse verstehen möchte, um eine "bestanden oder nicht bestanden"-Prüfung zu bestimmen, oder auch bei der Bewertung der Toleranz, wo man die Unsicherheit kennen muss, bevor man entscheidet, ob die erforderlichen Toleranzen eingehalten wurden.

Wenn 100%iges Vertrauen unmöglich ist, was ist dann ausreichend?

Im Gegensatz zu diesem "Zweifel" steht die Gewissheit, auch Vertrauen genannt, die wir haben wollen, wenn wir einen Messwert angeben. In der Metrologie wollen wir in der Regel eine Sicherheit von 95 % haben, wenn wir die Werte angeben. Interessierten Lesern wird empfohlen, sich in externen Internetquellen über den Erweiterungsfaktor K zu informieren (er wird in der Regel auf 2 festgelegt und bedeutet eine Sicherheit von 95 %, während K=1 eine Sicherheit von 68 % bedeutet).

Ein Beispiel: Wir könnten sagen, dass der Härtewert eines Prüfblocks 780 HLD ± 6 HLD beträgt, wobei ± 6 HLD die Unsicherheit ist. Mit k = 2 bedeutet die Aussage, dass wir mit 95%iger Sicherheit wissen, dass die Härte des Prüfblocks zwischen 774 HLD und 786 HLD liegt.

Wie ist sie in der ISO 16859 definiert und was sind ihre Bestandteile?

Betrachten wir eine der in DIN EN ISO 16859-1 beschriebenen Methoden, die als M2 bezeichnet wird. Nicht mathematisch versierte Leser können dieses Kapitel auch überspringen und zum nächsten Kapitel übergehen. Die Unsicherheit eines Leeb-Härtemesssystems besteht aus einer statistischen Komponente, einer dem Messgerät innewohnenden Komponente und einer Komponente, die sich aus der messtechnischen Kette zwischen dem nationalen Normal und dem Anwendergerät (Rückführbarkeit) und dem Prüfblock ergibt.

$$U = k\sqrt{U_H^2 + u_{ms}^2\left(\frac{U_{MPE}}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Wo:

U - Die kombinierte erweiterte Messunsicherheit

k - Erfassungsfaktor (k=1, k=2)

$\mathbf{u_H}$ - Standardunsicherheit der Härteprüfmaschine (k = 1 oder k = 2), Ihr Gerät für die Messung an "Zertifiziertem Referenzmaterial (ZRM)" - *id est.* ein Prüfkörper

$\mathbf{u_{ms}}$ - Standardunsicherheit aufgrund der Auflösung des Härteprüfers, z.B. 1 HLD.

$\mathbf{u_{MPE}}$ - Erweiterte Unsicherheit, abgeleitet von der maximal zulässigen Abweichung

$$U_H = t \cdot S_H$$

Wobei:

t - Student'scher Faktor, berechnet auf der Grundlage der statistischen Tabellen (für 10 Messungen ist t=1,06, je geringer die Anzahl der Messungen, desto höher der t-Faktor)

$\mathbf{S_H}$ - Standardabweichung für Messungen am ZRM

$$S_H = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(H_i - H_{AVG})^2}$$

n - Anzahl der Messungen

S_{AVG} - Mittelwert der Messung am CRM (Testblock)

$$U_{MPE} = E_{rel} \cdot H_{CRM}$$

Und die letzte Komponente der Gleichung, die uMPE.

Erel - Höchstzulässiger Fehler gemäß ISO16859

H_{CRM} - Wert des CRM (Testblock)

Type of impact device	Leeb hardness of reference test block	Maximum permissible error (Erel) %
D, D+15	<500	±4.0
DL, S	<700	
C, E	<600	
G	<450	
D, D+15	500 to 700	±3.0
DL, S	700 to 850	
C, E	600 to 750	
G	450 to 600	
D, D+15	>700	±2.0
DL, S	>850	
C, E	>750	
G	>600	

Wie wirkt sich die Unsicherheit in einfachen Worten aus?

Die Berechnung der Unsicherheit von Härteprüfungsmessungen ist ein langwieriger Prozess. Glücklicherweise gibt es einige praktische Schritte, die man anwenden kann, um den "Messzweifel" zu bekämpfen (siehe unten). Auch wenn verschiedene Normen für unterschiedliche Verfahren die Messunsicherheit auf leicht unterschiedliche Weise berechnen, bleibt das Prinzip dahinter für alle Prüfverfahren gleich. In einfachen Worten: Die Hauptfaktoren, die die Unsicherheit beeinflussen, sind:

- Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Ausrüstung
- Parameter zur Einhaltung der Norm
- Härtehomogenität des bei der Kalibrierung und Überprüfung verwendeten Prüfblocks
- Prüfverfahren des Prüfkörpers

In diesem Artikel verzichten wir der Einfachheit halber auf die exakte Differentialmethode, ein Ergebnis dieser Berechnung würde jedoch zeigen, dass u_H den größten Einfluss auf die Unsicherheit hat, d. h. auf die Anzahl der durchgeführten Messungen (Auswirkung auf den t-Studentenfaktor) und die Standardabweichung, die nicht nur von der Anzahl der Messungen, sondern auch von der Wiederholbarkeit (auch als Präzision definiert) des Messgeräts abhängt.

Was ist die beste Praxis?

Die kombinierte Unsicherheit setzt sich aus drei Komponenten zusammen: der Unsicherheit der Sonde, der Unsicherheit aufgrund der Inhomogenität des Prüflings und der maximalen Unsicherheit aufgrund der Einhaltung der Norm (in diesem Beispiel ist dies die DIN EN ISO 16859). Der Benutzer hat einen Einfluss auf alle drei Komponenten, indem er:

1. Sicherstellung der besten Qualität der Geräte und ihrer Kalibrierungen
2. Durchführung einer ausreichend hohen Anzahl von Messungen am Prüfling
3. Er wählt die Messfühler aus, die den strengsten Normen entsprechen.

Schritt 1

Um die beste Qualität der Kalibrierungen zu gewährleisten, empfiehlt den Anwendern, ihre Geräte nach akkreditierten Kalibrierungen wie ISO/IEC 17025 und mit den besten verfügbaren Werkzeugen zu kalibrieren, bei denen jede der Kalibrierungskomponenten, die auch nur eine untergeordnete Rolle spielen, von externen, unabhängigen Auditoren geprüft, validiert und genehmigt wird.

Ein wichtiger Bestandteil des Kalibrierungsprozesses ist die Härtehomogenität des Prüfblocks. Ein ZRM mit gleichmäßiger Härte über seine gesamte Oberfläche gewährleistet, dass jeder Eindruck, der während des Kalibrierungsprozesses gemacht wird, konsistente Ergebnisse liefert. Diese Konsistenz reduziert die Schwankungen in den Kalibrierdaten, was zu einer geringeren Standardabweichung und folglich zu einer geringeren Unsicherheit in der Kalibrierung führt. Eine schlechte Homogenität erhöht die Unsicherheitskomponente in Bezug auf den Vergleichskörper, die sich dann auf das gesamte Unsicherheitsbudget des Härteprüfers auswirkt.

Schritt 2

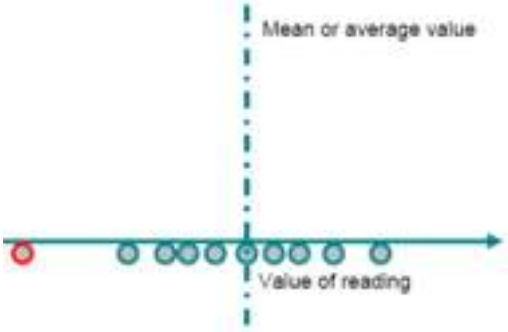
Um die Auswirkungen der Inhomogenität des Prüfstücks zu minimieren, wird den Benutzern empfohlen, die Anzahl der Messungen zu erhöhen. Wie viele Messungen sollten Sie durchführen?

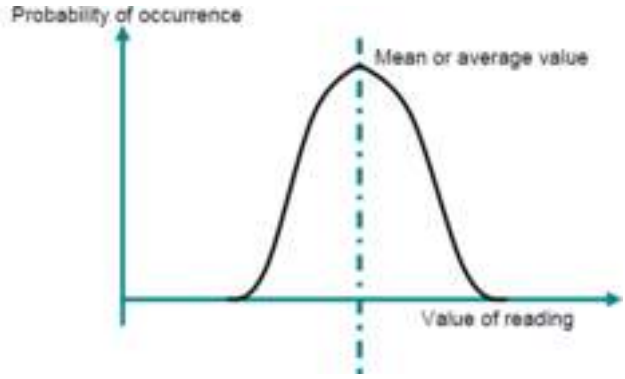
Je mehr Einzelmessungen zur Ermittlung des Endergebnisses herangezogen werden, desto sicherer ist es, dass der berechnete Durchschnittswert näher an der tatsächlichen Härte des Prüfstücks liegt. Die Durchführung von mehr Messungen könnte jedoch zusätzlichen Aufwand bedeuten und die Daten insgesamt nur geringfügig verbessern. Als Faustregel gilt, dass ein Wert zwischen 3 und 10 Messungen im Allgemeinen akzeptabel ist, sofern nichts anderes angegeben ist.

- Üblicherweise werden 10 Messungen vorgenommen, da dies die statistische Unsicherheit verringert, Ausreißer gemittelt werden und die Arithmetik einfach ist.
- In manchen Fällen sind 3 Messwerte ausreichend. Diese Praxis ist üblich, wenn die Prüfstücke eine vergleichsweise homogene Härte aufweisen und die Oberfläche des Prüfstücks gut vorbereitet ist. Bei einigen Gusseisensorten mit biphasischem Gefüge beispielsweise ist die Unsicherheit aufgrund einer möglichen Streuung der Daten standardmäßig höher.
- Die Messung von 20 oder sogar 50 Messwerten ergibt nur eine etwas bessere Schätzung als 10.

Schritt 3

Um die bestmögliche Einhaltung der Normen zu gewährleisten, wählt ein Gerät, das die strengsten Normen erfüllt: DIN50159, chinesisch GB/T 34205 für UCI und international DIN EN ISO 16859 für Leeb.





Was ist keine Unsicherheit?

Als wir vor über 48 Jahren die Leeb-Methode erfanden, stießen wir auf verschiedene Definitionen von Unsicherheit und das Verständnis der Benutzer, die eindeutig keine Unsicherheiten sind. Im Folgenden finden Sie eine kurze Liste dessen, was **NICHT** eine Unsicherheit ist:

- **Die statistische Analyse** ist nicht dasselbe wie die Unsicherheitsanalyse. Statistiken werden in der Regel bei Unsicherheitsberechnungen verwendet, können aber auch dazu dienen, Schlussfolgerungen zu ziehen, die über die Verwendung bei Unsicherheitsberechnungen hinausgehen.
- **Genauigkeit** (oder eher Ungenauigkeit) ist nicht dasselbe wie Unsicherheit. Korrekterweise ist "Genauigkeit" ein qualitativer Begriff (man könnte z. B. sagen, dass die Messung "genau" oder "nicht genau" war). Die Unsicherheit ist quantitativ. Eine "Plus- oder Minuszahl" kann als Unsicherheit bezeichnet werden, aber nicht als Genauigkeit.
- **Spezifikationen und Toleranzen** sind keine Unsicherheiten. Während Spezifikationen angeben, was von einem Produkt erwartet werden kann (einschließlich "nicht-technischer" Eigenschaften wie z. B. seine Farbe), könnten Toleranzen als Akzeptanzgrenzen bezeichnet werden, die für einen Prozess oder ein System gewählt werden.
- **Fehler** sind nicht dasselbe wie Unsicherheiten, insbesondere in der Vergangenheit war es üblich, die Begriffe synonym zu verwenden. Ein Fehler bezieht sich normalerweise auf eine Fehlfunktion innerhalb des Systems. In letzter Zeit wird der Begriff "Fehler" jedoch auch synonym mit "Verzerrung" verwendet, die in der Regel als Bestandteil der Messunsicherheit betrachtet wird.
- **Fehler, die von Bedienern** gemacht werden, sind keine Messunsicherheiten. Sie sollten durch sorgfältiges Arbeiten und eine doppelte Überprüfung der Arbeit vermieden werden.

Referenzen

Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Leeb - Teil 1: Prüfverfahren, DIN EN ISO16859-1

Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Leeb - Teil 2: Verifizierung und Kalibrierung der Prüfgeräte, DIN EN ISO16859-2

Tragbare Härteprüfung. Theorie, Praxis, Anwendungen, Richtlinien. Burnat, D., Raj, L., Frank, S., Ott, T. Schwerzenbach, Screening Eagle Technologies AG, 2022.

Copyright © 2024 Screening Eagle Technologies. All rights reserved. The trademarks and logos displayed herein are registered and unregistered trademarks of Screening Eagle Technologies S.A. and/or its affiliates, in Switzerland and certain other countries.