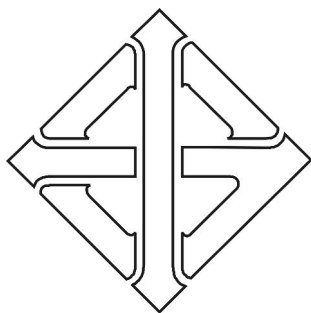




มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2169 เล่ม 1 - 2555

ISO 6507-1 : 2005

วัสดุโลหะ – การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส – เล่ม 1 วิธีทดสอบ

METALLIC MATERIALS – VICKERS HARDNESS TEST -
PART 1: TEST METHOD

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 77.040.10

ISBN 978-616-231-411-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
วัสดุโลหะ – การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส –
เล่ม 1 วิธีทดสอบ

มอก. 2169 เล่ม 1 - 2555

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 129 ตอนพิเศษ 168 ง
วันที่ 5 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2555

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 90
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กแผ่น

ประธานกรรมการ

รองศาสตราจารย์ประสงค์ ศรีเจริญชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรรมการ

นาวาเอกอภิรมย์ เงินบำรุง

กรมอุทการเรือ

นาวาตรีกมล ศิริไธ

นายธนศ เมฆฉาย

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

นายสมศักดิ์ จุลแสน

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

นางสาวพฐ ทองจุล

นายธีรยุทธ เลิศศิริรังสรรค์

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

นายสุภาพ จิตรายนนท์

สมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย

นายนเรศ กรุดพันธ์

บริษัท เหล็กแผ่นรีดเย็นไทย จำกัด (มหาชน)

นายมานะ รัตนเชิดเกียรติ

นายสุรศักดิ์ จตุรภัทรไพบูรณ์

บริษัท สยามสตีลกรุ๊ปอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (มหาชน)

นายอนุวัฒน์ หวังวนิชชากร

บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน)

นายกิตติคม พูลสมบัติ

นางสาวกนิษฐา ประโยชน์

นายสุวัชชัย ชัยอำนวยสุข

บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด

นายศักดิ์ชัย จงศิริเลิศ

นายปวเรศ ปรีดาวิภาต

บริษัท แอล พี เอ็น เพลทมิล จำกัด (มหาชน)

นายเกียรติ สาเงิน

นายสุรพงษ์ ธนะพงศ์พิทยา

บริษัท จี เจ สตีล จำกัด (มหาชน)

นายวุฒินันท์ ผลภายี

บริษัท บลูสโคปสตีล (ประเทศไทย) จำกัด

นายเดชาคม บุญมา

นายสมเจตน์ นิมานะ

สมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย

นายภูวคณ ก้อนทอง

นางวรรณ นันทมนตรี

บริษัท สหวิริยาเพลทมิล จำกัด (มหาชน)

นายชัยณรงค์ ทากุดเรือ

กรรมการและเลขานุการ

นายชัยภัค ภัทรจินดา

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัสดุโลหะ – การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส – เล่ม 1 วิธีทดสอบ นี้ ได้ประกาศใช้เป็นครั้งแรกเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ความแข็งวิกเกอร์สสำหรับโลหะ เล่ม 1 วิธีทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก.2169 เล่ม 1 - 2547 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 122 ตอนที่ 93 ง วันที่ 3 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2548 ปัจจุบันเพื่อให้เกิดความชัดเจนและอำนวยความสะดวกแก่ผู้นำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมไปใช้และอ้างอิงในวงกว้าง จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิม และกำหนด มาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยรับ ISO 6507-1:2005 Metallic materials –Vickers hardness test – Part 1: Test method มาใช้โดยวิธีแปลในระดับเหมือนกันทุกประการ (identical) โดยใช้ ISO ฉบับภาษาอังกฤษเป็นหลัก

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4442 (พ.ศ. 2555)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ความแข็งแรงวิกเกอร์สำหรับโลหะ เล่ม 1 วิธีทดสอบ

และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วัสดุโลหะ – การทดสอบความแข็งแรงวิกเกอร์ - เล่ม 1 วิธีทดสอบ

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ความแข็งแรงวิกเกอร์สำหรับโลหะ เล่ม 1 วิธีทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 2169 เล่ม 1–2547

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3351 (พ.ศ. 2548) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ความแข็งแรงวิกเกอร์สำหรับโลหะ เล่ม 1 วิธีทดสอบ ลงวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วัสดุโลหะ – การทดสอบความแข็งแรงวิกเกอร์ - เล่ม 1 วิธีทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก.2169 เล่ม 1–2555 ขึ้นใหม่ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 120 วัน นับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2555

(หม่อมราชวงศ์พงษ์สวัสดิ์ สวัสดิวัตน์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วัสดุโลหะ – การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส

เล่ม 1 วิธีทดสอบ

1 ขอบข่าย

มาตรฐานฉบับนี้ กำหนดวิธีการทดสอบโลหะสำหรับการทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส สำหรับช่วงแรงทดสอบที่แตกต่างกันสามช่วง (ดูตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ช่วงแรงทดสอบ

ช่วงแรงทดสอบ, F N	สัญลักษณ์ความแข็ง	ความหมาย
$F \geq 49.03$	$\geq \text{HV } 5$	การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส
$1.961 \leq F < 49.03$	$\text{HV } 0.2 \text{ ถึง } < \text{HV } 5$	การทดสอบความแข็งวิกเกอร์สแรงต่ำ
$0.098 \text{ 07} \leq F < 1.961$	$\text{HV } 0.01 \text{ ถึง } < \text{HV } 0.2$	การทดสอบความแข็งจุลภาควิกเกอร์ส

มาตรฐานฉบับนี้ระบุการทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส สำหรับความยาวเส้นทแยงมุมของรอยกด ตั้งแต่ 0.020 mm ถึง 1.400 mm

หมายเหตุ 1 สำหรับเส้นทแยงมุมของรอยกดที่มีความยาวน้อยกว่า 0.020 mm ต้องพิจารณาถึงการเพิ่มขึ้นของความไม่แน่นอนด้วย

หมายเหตุ 2 โดยทั่วไป การลดแรงทดสอบจะเพิ่มการกระจายของผลการวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการทดสอบความแข็งวิกเกอร์สแรงต่ำและการทดสอบความแข็งจุลภาควิกเกอร์ส ซึ่งขีดจำกัดส่วนใหญ่เกิดขึ้นในการวัดเส้นทแยงมุมของรอยกด และสำหรับความแข็งจุลภาควิกเกอร์สเป็นไปได้ยากที่จะทำให้ความแม่นยำของการหาค่าความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยดีกว่า $\pm 0.001 \text{ mm}$ (ดูบรรณานุกรม [2]-[5])

สำหรับวัสดุและ/หรือผลิตภัณฑ์จำเพาะ จะมีมาตรฐานระหว่างประเทศเฉพาะเรื่องนั้นอยู่

2 เอกสารอ้างอิง

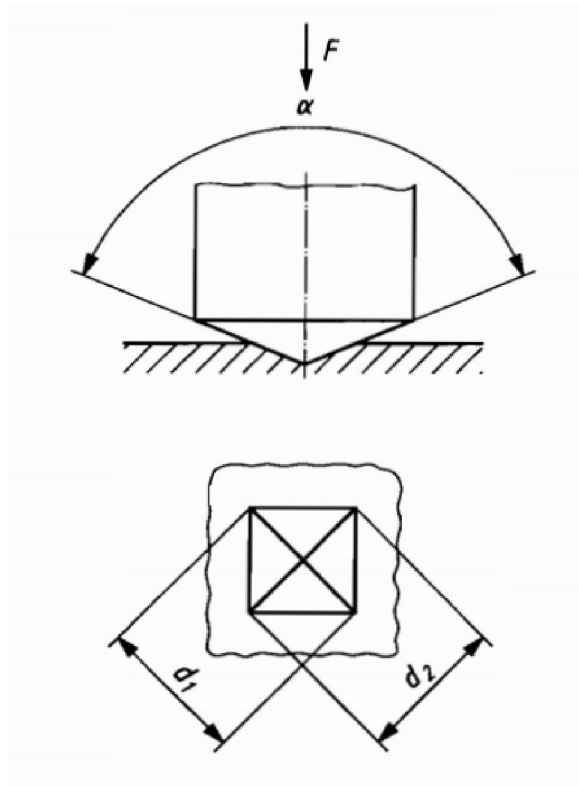
เอกสารอ้างอิงตามรายชื่อข้างท้ายนี้เป็นเอกสารที่จำเป็นต่อการนำมาตรฐานฉบับนี้ไปใช้งาน โดยเอกสารที่ระบุสถานะของการแก้ไขไว้ ให้ใช้เฉพาะฉบับที่ระบุไว้ ส่วนเอกสารที่มีได้ระบุสถานะของการแก้ไข ให้ใช้ฉบับที่แก้ไขล่าสุด รวมถึงส่วนแก้ไขเพิ่มเติมใด ๆ

ISO 6507-2, *Metallic materials – Vickers hardness test – Part 2: Verification and calibration of testing machines*

ISO 6507-4, *Metallic materials – Vickers hardness test – Part 4: Tables of hardness values*

3 หลักการ

เคลื่อนหัวกดเพชรรูปพีระมิดตรง (right pyramid – พีระมิดที่มียอดแหลมอยู่เหนือศูนย์กลางฐาน) ฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีมุมระหว่างด้านตรงกันข้ามที่จุดยอดตามที่ระบุไว้ เข้าสู่ผิวของชิ้นทดสอบ หลังจากเอาแรงทดสอบ F ออก วัดความยาวเส้นทแยงมุมของรอยกดที่เกิดขึ้น (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 1 หลักการของการทดสอบ

ความแข็งวิกเกอร์สเป็นสัดส่วนกับผลหารที่ได้จากการหารแรงทดสอบด้วยพื้นที่ลาดของรอยกด ซึ่งสมมติว่าเป็นพีระมิดตรงฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีมุมที่จุดยอดเท่ากันกับของหัวกด

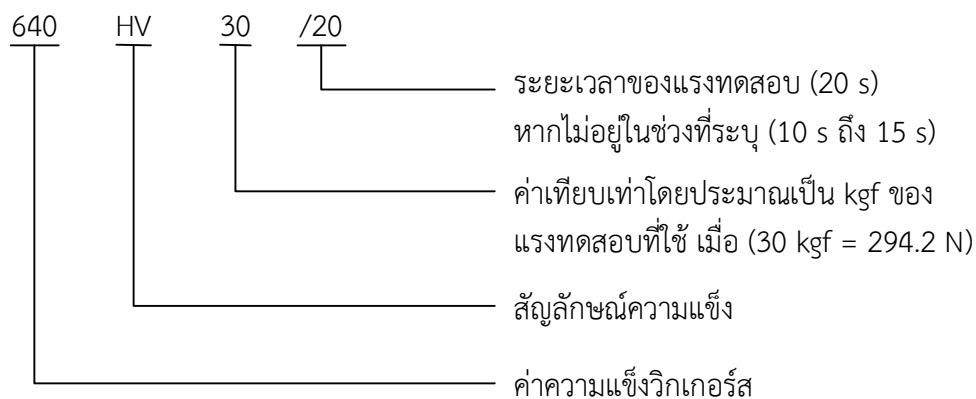
4 สัญลักษณ์ คำย่อ และความหมาย

4.1 ดูตารางที่ 2 และรูปที่ 1

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์/ คำย่อ	ความหมาย
α	มุมระหว่างด้านตรงกันข้ามที่จุดยอดของหัวกดรูปพีระมิด (136°)
F	แรงทดสอบ หน่วยเป็นนิวตัน (N)
d	ค่ามัธยฐานเลขคณิตของความยาวเส้นทแยงมุมสองเส้น d_1 และ d_2 (ดูรูปที่ 1) หน่วยเป็นมิลลิเมตร
HV	ความแข็งวิกเกอร์ส = ค่าคงตัว $\times \frac{\text{แรงทดสอบ}}{\text{พื้นที่ผิวของรอยกด}} = 0.102 \frac{2 F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 0.1891 \frac{F}{d^2}$
หมายเหตุ ค่าคงตัว = $0.102 = 1/9.806\ 65$ เมื่อ $9.806\ 65$ คือ ปัจจัยแปลงค่าจาก kgf เป็น N	

4.2 ตัวอย่างการระบุความแข็งวิกเกอร์ส HV เป็นดังนี้



5 เครื่องทดสอบ

5.1 เครื่องทดสอบ สามารถให้แรงตามที่กำหนดไว้ หรือให้แรงภายในช่วงแรงทดสอบที่ต้องการ และสอดคล้องกับ ISO 6507-2

5.2 หัวกด เพชรรูปพีระมิดตรงฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตามที่ระบุไว้ใน ISO 6507-2

5.3 ระบบการวัด ตามที่ระบุไว้ใน ISO 6507-2

หมายเหตุ วิธีการที่แนะนำสำหรับการตรวจสอบตามคาบเวลา ให้อ่านภาคผนวก ค

6 ขั้นตอนทดสอบ

- 6.1 หากมิได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่นในมาตรฐานผลิตภัณฑ์หรือมาตรฐานวัสดุ การทดสอบต้องกระทำบนผิวที่เรียบและได้ระดับ ปราศจากสะเก็ดออกไซด์ สิ่งแปลกปลอม และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ต้องปราศจากสารหล่อลื่นโดยสิ้นเชิง การแต่งผิวต้องทำให้สามารถหาค่าความยาวเส้นทแยงมุมของรอยกดได้แม่นยำ
- 6.2 การเตรียมต้องกระทำในลักษณะที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของความแข็งผิวเกิดขึ้นน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น การให้ความร้อนหรืองานแปรรูปเย็นที่มากเกินไป
- เนื่องจากรอยกดของการวัดความแข็งจุลภาควิกเกอร์มีความลึกน้อย จึงจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษระหว่างการเตรียม เป็นข้อแนะนำให้ใช้กระบวนการขัดเงา/การขัดเงาด้วยไฟฟ้าที่เหมาะสมกับพารามิเตอร์ของวัสดุ
- 6.3 ความหนาของชั้นทดสอบหรือของชั้นภายใต้การทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของเส้นทแยงมุมของรอยกด (ดูภาคผนวก ก)
- หลังจากการทดสอบ ด้านหลังของชั้นทดสอบต้องไม่มีการเปลี่ยนรูปที่เห็นได้
- 6.4 สำหรับการทดสอบบนผิวโค้ง ให้ใช้ค่าแก้ไขที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1 ถึง ข.6
- 6.5 สำหรับชั้นทดสอบที่มีภาคตัดขวางเล็กหรือรูปร่างไม่สม่ำเสมอ อาจจำเป็นต้องจัดให้มีการรองรับบางอย่างเพิ่มเติม

7 วิธีการทดสอบ

- 7.1 โดยปกติ การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิโดยรอบ ภายในขีดจำกัด 10 °C ถึง 35 °C การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุม ให้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- 7.2 แนะนำให้ใช้แรงทดสอบที่แสดงไว้ในตารางที่ 3

หมายเหตุ อาจใช้ค่าอื่นได้ ตัวอย่างเช่น HV 2.5 (24.52 N)

ตารางที่ 3 แรงทดสอบ

การทดสอบความแข็ง ^ก		การทดสอบความแข็งแรงต่ำ		การทดสอบความแข็งจุลภาค	
สัญลักษณ์ความแข็ง	ค่าระบุของแรงทดสอบ F N	สัญลักษณ์ความแข็ง	ค่าระบุของแรงทดสอบ F N	สัญลักษณ์ความแข็ง	ค่าระบุของแรงทดสอบ F N
HV 5	49.03	HV 0.2	1.961	HV 0.01	0.098 07
HV 10	98.07	HV 0.3	2.942	HV 0.015	0.147 1
HV 20	196.1	HV 0.5	4.903	HV 0.02	0.196 1
HV 30	294.2	HV 1	9.807	HV 0.025	0.245 2
HV 50	490.3	HV 2	19.61	HV 0.05	0.490 3
HV 100	980.7	HV 3	29.42	HV 0.1	0.980 7
^ก อาจใช้แรงทดสอบระบุที่มากกว่า 980.7 N ได้					

- 7.3 ขึ้นทดสอบต้องวางบนแท่นรองรับที่มั่นคงแข็งแรง ผิวของแท่นรองรับต้องสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม (สเกล น้ำมัน สิ่งสกปรก ฯลฯ) เป็นเรื่องสำคัญที่ขึ้นทดสอบจะต้องวางบนแท่นรองรับอย่างมั่นคง เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของขึ้นทดสอบระหว่างการทดสอบ
- 7.4 นำหัวกดไปสัมผัสกับผิวทดสอบและให้แรงทดสอบในทิศทางตั้งฉากกับผิว โดยไม่ให้เกิดการสะท้อนหรือการสั่น (shock or vibration) จนกระทั่งแรงที่ให้ถึงค่าที่ระบุไว้ ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงจนถึงค่าระบุ ต้องไม่น้อยกว่า 2 s และไม่เกิน 8 s สำหรับการทดสอบความแข็งวิกเกอร์สแรงต่ำและความแข็งจุลภาควิกเกอร์ส เวลาสูงสุดต้องไม่เกิน 10 s และความเร็วเข้าสู่ (approach speed) ของหัวกดต้องไม่เกิน 0.2 mm s^{-1}
- สำหรับการทดสอบความแข็งจุลภาควิกเกอร์ส หัวกดควรสัมผัสขึ้นทดสอบที่ความเร็วระหว่าง $15 \text{ } \mu\text{m s}^{-1}$ และ $70 \text{ } \mu\text{m s}^{-1}$
- ระยะเวลาของแรงทดสอบต้องอยู่ระหว่าง 10 s ถึง 15 s ยกเว้นการทดสอบวัสดุซึ่งสมบัติขึ้นกับเวลาจะทำให้ไม่สามารถใช้ช่วงเวลานี้ได้ สำหรับการทดสอบเหล่านี้ อนุญาตให้ใช้ระยะเวลานานขึ้นและให้ระบุระยะเวลาที่ใช้ไว้เป็นส่วนหนึ่งของการระบุความแข็ง (ดูตัวอย่าง ข้อ 4.2)
- 7.5 ตลอดการทดสอบ เครื่องทดสอบต้องได้รับการป้องกันจากการสะท้อนหรือการสั่น
- 7.6 ระยะจากจุดศูนย์กลางของรอยกดถึงขอบขึ้นทดสอบ ต้องมีค่าน้อย 2.5 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด สำหรับเหล็กกล้า ทองแดง และทองแดงเจือ และ 3 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด สำหรับโลหะเบา ตะกั่ว ดีบุก และโลหะเจือของธาตุเหล่านี้
- ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกดสองรอยที่อยู่เคียงกัน ต้องมีค่าน้อย 3 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด สำหรับเหล็กกล้า ทองแดง และทองแดงเจือ และ 6 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด สำหรับโลหะเบา ตะกั่ว ดีบุก และโลหะเจือของธาตุเหล่านี้ หากรอยกดที่อยู่เคียงกันนั้นมีขนาดแตกต่างกัน ให้ใช้ความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกดที่ใหญ่กว่าในการกำหนดระยะห่างนี้
- 7.7 วัดความยาวของเส้นทแยงมุมทั้งสองเส้น ให้นำค่ามัธยฐานเลขคณิตของค่าที่อ่านได้ทั้งสองไปคำนวณหาความแข็งวิกเกอร์ส
- สำหรับผิวเรียบ ความแตกต่างระหว่างเส้นทแยงมุมของรอยกดไม่ควรเกินร้อยละ 5 หากมีค่าเกินแล้ว ให้ระบุความแตกต่างไว้ในรายงานการทดสอบด้วย
- ควรตั้งกำลังขยายเพื่อให้เส้นทแยงมุมขยายใหญ่กว่าร้อยละ 25 แต่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของขอบเขตภาพ
- 7.8 ให้ใช้ตารางคำนวณใน ISO 6507-4 เพื่อหาค่าความแข็งวิกเกอร์สสำหรับการทดสอบบนผิวเรียบ

8 ความไม่แน่นอนของผลการทดสอบ

การประเมินอย่างสมบูรณ์ของความไม่แน่นอน ควรกระทำตาม ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)^[6]

การหาค่าความไม่แน่นอนสำหรับความแข็งมีความเป็นไปได้สองแนวทาง ซึ่งเป็นอิสระจากประเภทของแหล่งความไม่แน่นอน

- แนวทางที่อยู่บนฐานของการประเมินแหล่งที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ปรากฏขึ้นระหว่างการสอบเทียบโดยตรง ซึ่งสามารถใช้ข้อแนะนำของ EA ^[7] เป็นเอกสารอ้างอิงได้
- แนวทางที่อยู่บนฐานของการสอบเทียบโดยอ้อม โดยใช้บล็อกอ้างอิงความแข็ง [ย่อว่า CRM (certified reference material)] (ดูบรรณานุกรม [7-10]) ข้อแนะนำสำหรับการหาค่า ให้ไว้ในภาคผนวก ง

การกำหนดปริมาณส่วนร่วมความไม่แน่นอนที่ขี้งบไว้ทั้งหมดอาจไม่สามารถกระทำได้เสมอไป ในกรณีเช่นนี้ การประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานประเภท A อาจได้จากการวิเคราะห์เชิงสถิติของรอยกดซ้ำ ๆ บนชิ้นทดสอบ หากทำการรวมค่าความไม่แน่นอนประเภท A และ B ควรใช้ความระมัดระวังมิให้มีการนับส่วนร่วมซ้ำซ้อน (ดู GUM:1993 ข้อ 4)

9 รายงานการทดสอบ

รายงานการทดสอบต้องแสดงข้อมูลต่อไปนี้

- ก) การอ้างอิงถึงมาตรฐานฉบับนี้;
- ข) รายละเอียดที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการชี้บ่งที่สมบูรณ์ของชิ้นทดสอบ;
- ค) ผลการทดสอบที่ได้;
- ง) การดำเนินการทั้งหมดที่มีได้ระบุไว้ในมาตรฐานฉบับนี้ หรือที่ถือว่าเป็นทางเลือก;
- จ) รายละเอียดของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใด ๆ ที่อาจกระทบกับผลการทดสอบ;
- ฉ) อุณหภูมิทดสอบ หากอยู่นอกช่วงที่ระบุไว้ในข้อ 7.1

หมายเหตุ 1 การเปรียบเทียบที่ถูกต้องของค่าความแข็งเป็นไปได้เฉพาะที่แรงทดสอบเดียวกันเท่านั้น

เนื่องจากไม่มีกระบวนการทั่วไปสำหรับการแปลงค่าความแข็งวิกเกอร์สไปเป็นความแข็งสเกลอื่น หรือจากความแข็งไปเป็นความต้านแรงดึงได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการแปลงค่าเหล่านั้น เว้นเสียแต่จะสามารถหาเกณฑ์การแปลงค่าที่เชื่อถือได้จากการทดสอบเปรียบเทียบ

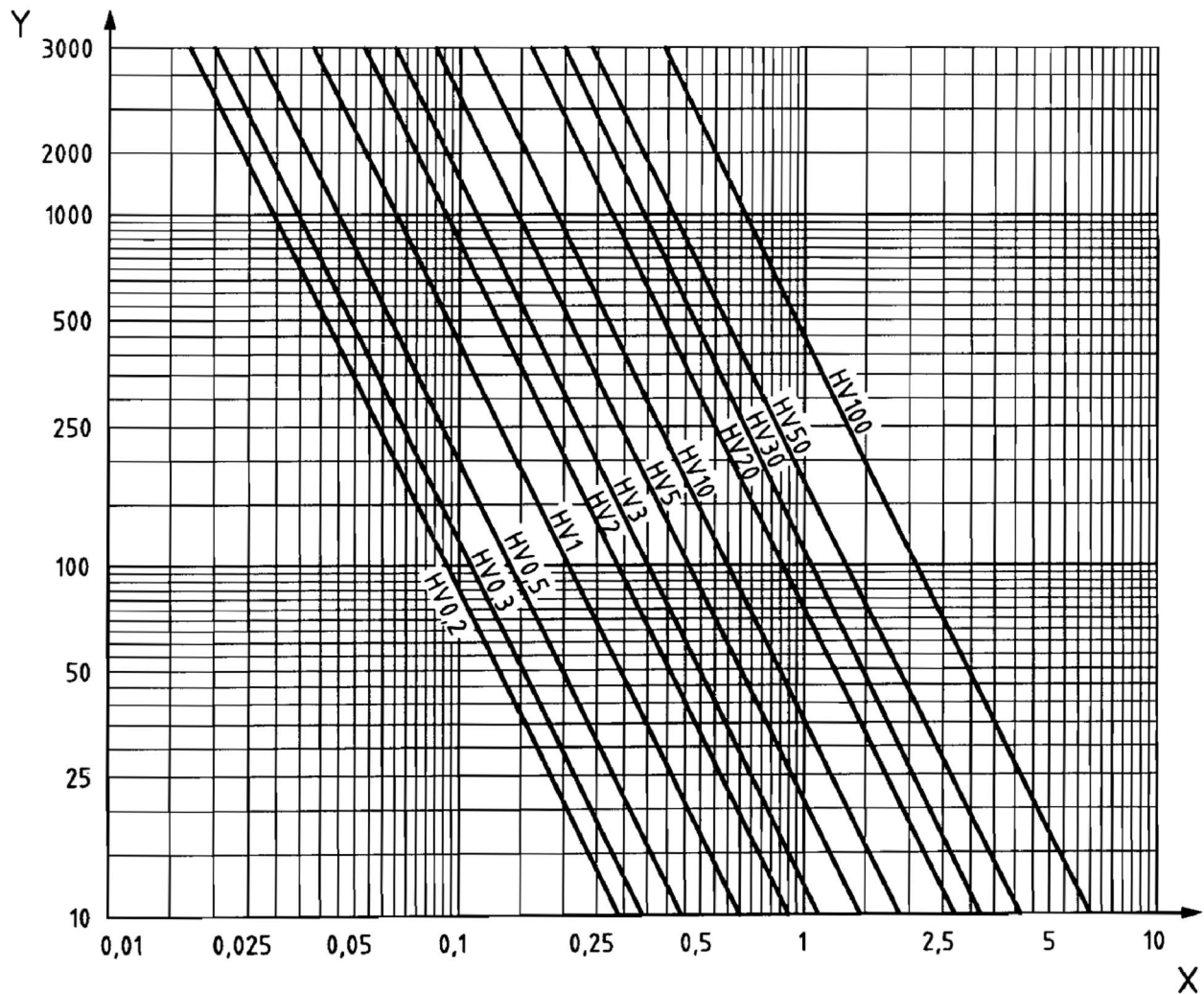
ควรสังเกตว่า สำหรับวัสดุแอนไอโซโทรปี ตัวอย่างเช่น วัสดุที่ผ่านการแปรรูปเป็นอย่างหนัก เส้นทแยงมุมทั้งสองของรอยกดจะมีความยาวที่ต่างกัน เมื่อเป็นไปได้ ควรทำรอยกดให้เส้นทแยงมุมเอียงทำมุมประมาณ 45° กับทิศทางการแปรรูปขึ้น ข้อกำหนดจำเพาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาจขี้งบขีดจำกัดของความแตกต่างระหว่างความยาวเส้นทแยงมุมสองเส้นไว้

หมายเหตุ มีหลักฐานว่า วัสดุบางชนิดอาจไวต่ออัตราของการให้ความเครียด (straining) ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นครากเล็กน้อย ผลที่สอดคล้องกับการสิ้นสุดของการก่อตัวของรอยกดสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าความแข็ง

ภาคผนวก ก

(ให้ไว้เป็นข้อบังคับ)

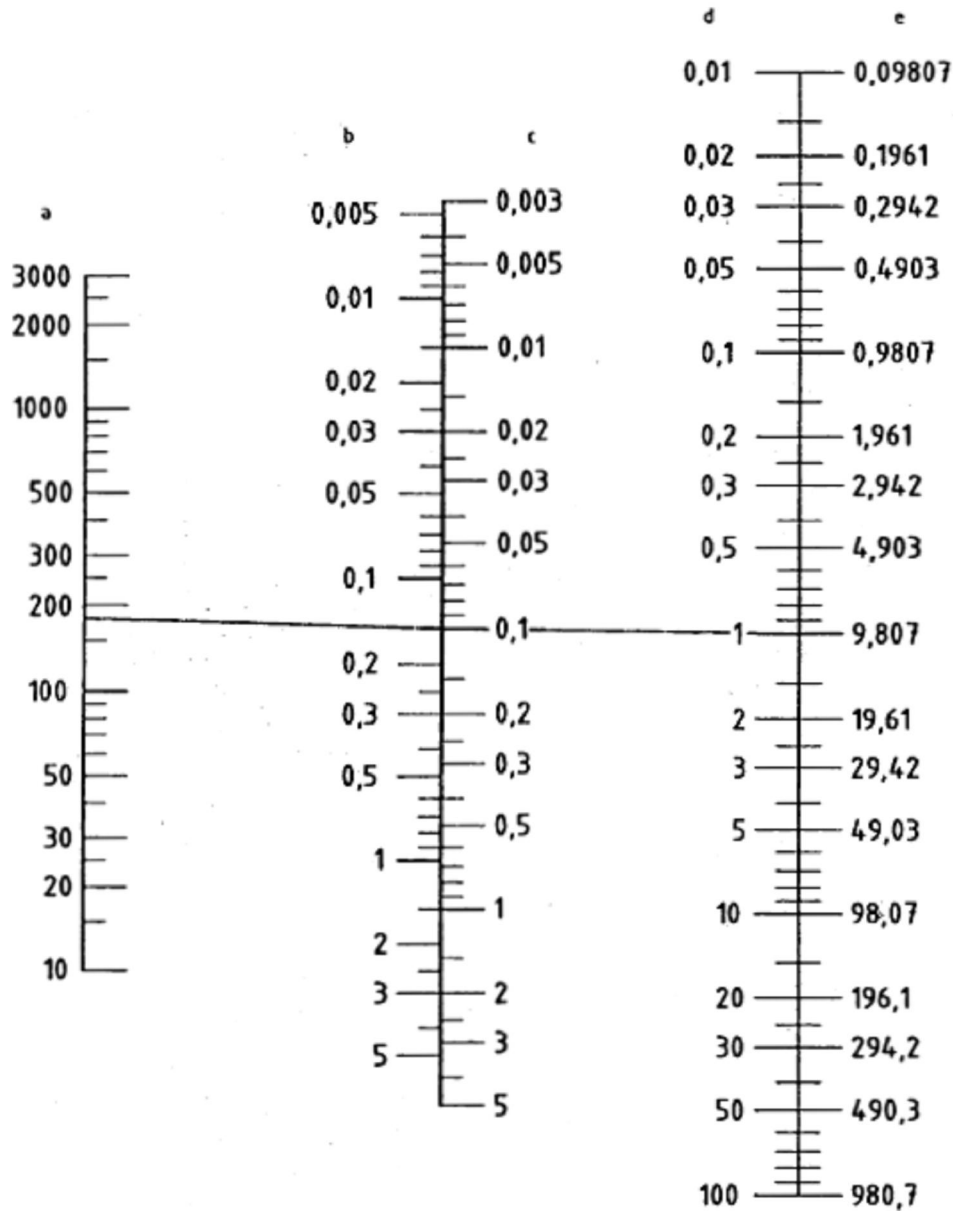
ความหนาต่ำสุดของชั้นทดสอบที่สัมพันธ์กับแรงทดสอบและความแข็ง



สัญลักษณ์

- X ความหนาของชั้นทดสอบ, mm
Y ความแข็ง, HV

รูปที่ ก.1 ความหนาต่ำสุดของชั้นทดสอบที่สัมพันธ์กับแรงทดสอบและความแข็ง
(HV 0.2 ถึง HV 100)



สัญลักษณ์

- a ค่าความแข็ง, HV
- b ความหนาต่ำสุด t , mm
- c ความยาวเส้นทแยงมุม d , mm
- d สัญลักษณ์ความแข็ง, HV
- e แรงทดสอบ F , N

รูปที่ ก.2 โนโมแกรมสำหรับความหนาต่ำสุดของชั้นทดสอบ (HV 0.01 ถึง HV 100)

โนโมแกรมที่แสดงไว้ในรูปที่ ก.2 ได้รับการออกแบบมาสำหรับหาความหนาต่ำสุดของชั้นทดสอบ โดยสมมุติว่าความหนาต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมของรอยกด ความหนาที่ต้องการหาได้จากจุดตัดของสเกลความหนาต่ำสุดกับเส้น (เส้นจุดในตัวอย่างในรูปที่ ก.2) ที่ลากเชื่อมแรงทดสอบ (สเกลทางขวามือ) กับความแข็ง (สเกลทางซ้ายมือ)

ภาคผนวก ข

(ให้ไว้เป็นข้อบังคับ)

ตารางปัจจัยค่าแก้ไขสำหรับการทดสอบบนผิวโค้ง

ข.1 ผิวทรงกลม

เมื่อทำการทดสอบบนผิวทรงกลม ปัจจัยค่าแก้ไขให้ไว้ในตารางที่ ข.1 และ ข.2

ปัจจัยค่าแก้ไขในตารางแสดงไว้ในพจน์ของอัตราส่วนของเส้นทแยงมุมเฉลี่ย d ของรอยกดทับเส้นผ่านศูนย์กลาง D ของทรงกลม

ตัวอย่าง ทรงกลมขนาด $D = 10 \text{ mm}$

แรงทดสอบ $F = 98.07 \text{ N}$

เส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด $d = 0.150 \text{ mm}$

$$\frac{d}{D} = \frac{0.150}{10} = 0.015$$

$$\text{ความแข็งวิกเกอร์ส} = 0.1891 \times \frac{98.07}{(0.15)^2} = 824 \text{ HV } 10$$

ปัจจัยค่าแก้ไขจากตารางที่ ข.1 โดยการประมาณค่าในช่วง (interpolation) = 0.983

$$\text{ความแข็งของทรงกลม} = 824 \times 0.983 = 810 \text{ HV } 10$$

ตารางที่ ข.1 ผิวทรงกลมขนาด

d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข	d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข
0.004	0.995	0.086	0.920
0.009	0.990	0.093	0.915
0.013	0.985	0.100	0.910
0.018	0.980	0.107	0.905
0.023	0.975	0.114	0.900
0.028	0.970	0.122	0.895
0.033	0.965	0.130	0.890
0.038	0.960	0.139	0.885
0.043	0.955	0.147	0.880
0.049	0.950	0.156	0.875
0.055	0.945	0.165	0.870
0.061	0.940	0.175	0.865
0.067	0.935	0.185	0.860
0.073	0.930	0.195	0.855
0.079	0.925	0.206	0.850

ตารางที่ ข.2 ผิวทรงกลมเว้า

d/D	ปัจจัยค่าแก้	d/D	ปัจจัยค่าแก้
0.004	1.005	0.057	1.080
0.008	1.010	0.060	1.085
0.012	1.015	0.063	1.090
0.016	1.020	0.066	1.095
0.020	1.025	0.069	1.100
0.024	1.030	0.071	1.105
0.028	1.035	0.074	1.110
0.031	1.040	0.077	1.115
0.035	1.045	0.079	1.120
0.038	1.050	0.082	1.125
0.041	1.055	0.084	1.130
0.045	1.060	0.087	1.135
0.048	1.065	0.089	1.140
0.051	1.070	0.091	1.145
0.054	1.075	0.094	1.150

ข.2 ผิวทรงกระบอก

เมื่อทำการทดสอบบนผิวทรงกระบอก ปัจจัยค่าแก้ ให้ไว้ในตารางที่ ข.3 ถึง ข.6

ปัจจัยค่าแก้ในตารางแสดงไว้ในพจน์ของอัตราส่วนของเส้นทแยงมุมเฉลี่ย d ของรอยกดกับเส้นผ่านศูนย์กลาง D ของทรงกระบอก

ตัวอย่าง ทรงกระบอกเว้า เส้นทแยงมุมเส้นหนึ่งของรอยกดขนานกับแกน $D = 5 \text{ mm}$

แรงทดสอบ $F = 294.2 \text{ N}$

เส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด $d = 0.415 \text{ mm}$

$$\frac{d}{D} = \frac{0.415}{5} = 0.083$$

$$\text{ความแข็งวิกเกอร์ส} = 0.1891 \times \frac{294.2}{(0.415)^2} = 323 \text{ HV } 30$$

ปัจจัยค่าแก้จากตารางที่ ข.6 = 1.075

ความแข็งของทรงกระบอก = $323 \times 1.075 = 347 \text{ HV } 30$

ตารางที่ ข.3 ผิวดวงกระบอกนูน – เส้นทแยงมุมทำมุม 45° กับแกน

d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข	d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข
0.009	0.995	0.119	0.935
0.017	0.990	0.129	0.930
0.026	0.985	0.139	0.925
0.035	0.980	0.149	0.920
0.044	0.975	0.159	0.915
0.053	0.970	0.169	0.910
0.062	0.965	0.179	0.905
0.071	0.960	0.189	0.900
0.081	0.955	0.200	0.895
0.090	0.950		
0.100	0.945		
0.109	0.940		

ตารางที่ ข.4 ผิวดวงกระบอกเว้า – เส้นทแยงมุมทำมุม 45° กับแกน

d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข	d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข
0.009	1.005	0.127	1.080
0.017	1.010	0.134	1.085
0.025	1.015	0.141	1.090
0.034	1.020	0.148	1.095
0.042	1.025	0.155	1.100
0.050	1.030	0.162	1.105
0.058	1.035	0.169	1.110
0.066	1.040	0.176	1.115
0.074	1.045	0.183	1.120
0.082	1.050	0.189	1.125
0.089	1.055	0.196	1.130
0.097	1.060	0.203	1.135
0.104	1.065	0.209	1.140
0.112	1.070	0.216	1.145
0.119	1.075	0.222	1.150

ตารางที่ ข.5 ผิวดวงกระบอกนูน – เส้นทแยงมุมเส้นหนึ่งขนานกับแกน

d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข	d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข
0.009	0.995	0.085	0.965
0.019	0.990	0.104	0.960
0.029	0.985	0.126	0.955
0.041	0.980	0.153	0.950
0.054	0.975	0.189	0.945
0.068	0.970	0.243	0.940

ตารางที่ ข.6 ผิวดวงกระบอกเว้า – เส้นทแยงมุมเส้นหนึ่งขนานกับแกน

d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข	d/D	ปัจจัยค่าแก้ไข
0.008	1.005	0.087	1.080
0.016	1.010	0.090	1.085
0.023	1.015	0.093	1.090
0.030	1.020	0.097	1.095
0.036	1.025	0.100	1.100
0.042	1.030	0.103	1.105
0.048	1.035	0.105	1.110
0.053	1.040	0.108	1.115
0.058	1.045	0.111	1.120
0.063	1.050	0.113	1.125
0.067	1.055	0.116	1.130
0.071	1.060	0.118	1.135
0.076	1.065	0.120	1.140
0.079	1.070	0.123	1.145
0.083	1.075	0.125	1.150

ภาคผนวก ค

(ให้ไว้เป็นข้อมูล)

วิธีตรวจสอบเครื่องทดสอบตามคาบเวลาโดยผู้ใช

ทุกวันที่มีการใช้งาน ควรทำการตรวจสอบเครื่องทดสอบที่ประมาณ (approximately) แต่ละระดับความแข็งและสำหรับแต่ละช่วงหรือสเกลที่ใช้งาน

ก่อนทำการตรวจสอบ ระบบการวัดควรได้รับการทวนสอบโดยอ้อม (สำหรับแต่ละช่วง/สเกล และระดับความแข็ง) โดยใช้รอยกดอ้างอิงบนบล็อกความแข็งอ้างอิงซึ่งสอบเทียบแล้วตาม ISO 6507-3 มิติที่วัดได้ควรสอดคล้องกับค่ารับรองภายในค่าผิดพลาดที่ยอมให้สูงสุดในตารางที่ 5 ของ ISO 6507-2:2005 หากระบบการวัดไม่ผ่านการทดสอบนี้ ควรดำเนินการตามความเหมาะสม

การตรวจสอบเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดรอยกดอย่างน้อยหนึ่งรอยบนบล็อกความแข็งอ้างอิง ซึ่งสอบเทียบแล้วตาม ISO 6507-3 หากความแตกต่างระหว่างความแข็งมีขมิ้มที่วัดได้และค่าที่รับรองของบล็อกอยู่ภายในค่าผิดพลาดที่ยอมให้สูงสุดในตารางที่ 5 ของ ISO 6507-2:2005 อาจถือว่าเครื่องทดสอบผ่าน หากไม่ผ่าน ควรทำการทวนสอบโดยอ้อม

ควรเก็บรักษานบันทึกผลการตรวจสอบเหล่านี้ไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง และใช้วัดความสามารถทำซ้ำ (reproducibility) และเฝ้าติดตามการเลื่อน (drift) ของเครื่องทดสอบ

ภาคผนวก ง

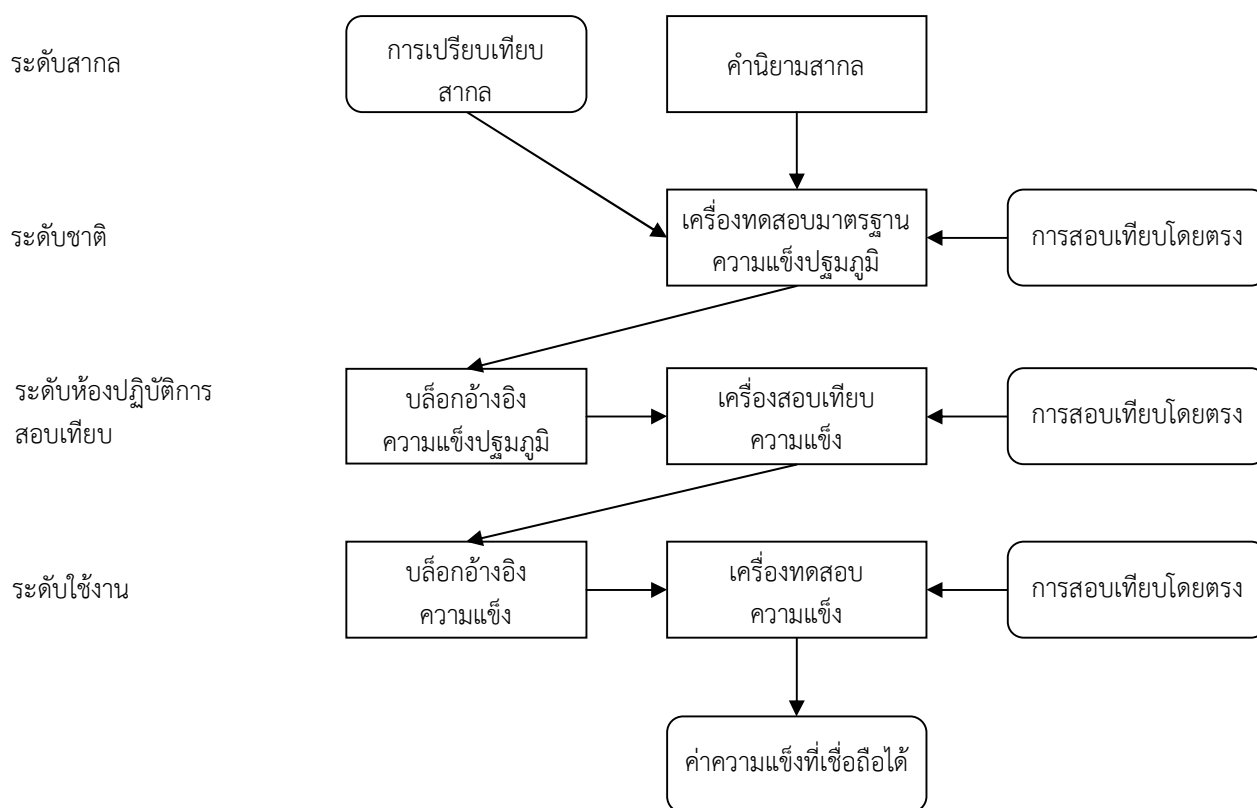
(ให้ไว้เป็นข้อมูล)

ความไม่แน่นอนของค่าความแข็งที่วัดได้

ง.1 ข้อกำหนดทั่วไป

แนวทางการหาค่าความไม่แน่นอนที่แสดงไว้ในภาคผนวกนี้ พิจารณาเพียงความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการวัดโดยรวมของเครื่องทดสอบที่เกี่ยวข้องกับบล็อกอ้างอิงความแข็ง (ด้านล่างต่อไป ย่อว่า CRM) ความไม่แน่นอนของสมรรถนะเหล่านี้สะท้อนผลรวมของความไม่แน่นอนต่าง ๆ ทั้งหมด (การทวนสอบโดยอ้อม) จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแต่ละส่วนกำลังทำงานได้ภายในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน และเป็นข้อแนะนำอย่างยิ่งว่า ควรใช้วิธีการนี้ภายในระยะเวลาไม่เกินหนึ่งปีหลังจากการทวนสอบโดยตรงสัมฤทธิ์ผลแล้ว

รูปที่ ง.1 แสดงโครงสร้างสี่ระดับของโซ่ทางมาตรวิทยาที่จำเป็นเพื่อกำหนดและถ่ายทอดสเกลความแข็ง ลูกโซ่เริ่มจากระดับสากล โดยใช้คำนิยามสากลของสเกลความแข็งต่างๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกันระดับสากล (international intercomparisons) เครื่องทดสอบมาตรฐานความแข็งปฐมภูมิจำนวนหนึ่งในระดับชาติ “ให้ค่า” บล็อกอ้างอิงความแข็งปฐมภูมิ สำหรับระดับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ โดยปกติแล้ว การสอบเทียบโดยตรงและการทวนสอบของเครื่องเหล่านี้ ควรกระทำที่ความแม่นยำสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ ง.1 โครงสร้างของโซ่ทางมาตรวิทยาสำหรับคำนิยามและการถ่ายทอดสเกลความแข็ง

ง.2 วิธีการทั่วไป

วิธีการนี้คำนวณความไม่แน่นอนรวม u_1 โดยวิธีรากของผลรวมกำลังสอง (RSS) ของแหล่งต่าง ๆ ที่ให้ไว้ในตารางที่ ง.1 ซึ่งแสดงสัญลักษณ์และความหมายไว้ด้วย จากนั้นหาค่าความไม่แน่นอนขยาย U โดยคูณ u_1 ด้วยปัจจัยครอบคลุม $k = 2$

ง.3 ค่าเอนเอียง (bias) ของเครื่องทดสอบ

ค่าเอนเอียง b ของเครื่องทดสอบความแข็ง (อาจเรียกว่า ค่าผิดพลาด) ซึ่งหาค่าจากความแตกต่างระหว่าง

— ค่ามัชฌิมของรอยกดหารอยระหว่างการสอบเทียบเครื่องทดสอบความแข็ง และ

— ค่าสอบเทียบของบล็อกอ้างอิงความแข็ง

สามารถนำไปใช้ด้วยวิธีที่แตกต่างกันในการหาค่าความไม่แน่นอน

ง.4 วิธีการสำหรับการคำนวณความไม่แน่นอน: ค่าการวัดความแข็ง

หมายเหตุ ในภาคผนวกนี้ ดัชนี CRM “วัสดุอ้างอิงรับรอง” ตามคำนิยามของมาตรฐานการทดสอบความแข็ง หมายถึง “บล็อกอ้างอิงความแข็ง”

ง.4.1 วิธีการที่ไม่ใช้ค่าเอนเอียง (วิธีการ 1)

วิธีการ 1 (ย่อว่า M1) เป็นวิธีการอย่างง่าย ซึ่งสามารถใช้โดยไม่พิจารณาค่าผิดพลาดเชิงระบบของเครื่องทดสอบความแข็ง

ใน M1 ขีดจำกัดค่าผิดพลาด ซึ่งหมายถึงช่วงที่ยอมให้เครื่องทดสอบแตกต่างจากมาตรฐานอ้างอิง ถูกใช้เพื่อกำหนดแหล่ง u_E ของความไม่แน่นอน โดยไม่มีการใช้ค่าผิดพลาดมาเป็นค่าแก้สำหรับค่าความแข็ง

วิธีการสำหรับการหาค่า U ได้อธิบายไว้ในตารางที่ ง.1 (ดูบรรณานุกรม [6] และ [7])

$$U = k \cdot \sqrt{u_E^2 + u_{CRM}^2 + u_H^2 + u_{\bar{x}}^2 + u_{ms}^2} \quad (ง.1)$$

เมื่อผลการวัดหาจากสมการ (ง.2)

$$\bar{X} = \bar{x} \pm U \quad (ง.2)$$

ง.4.2 วิธีการที่ใช้ค่าเอนเอียง (วิธีการ 2)

ในฐานะเป็นทางเลือกของ M1 อาจใช้วิธีการ 2 (ย่อว่า M2) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้งานแผนภูมิควบคุม (control chart) โดย M2 อาจทำให้ได้ค่าความไม่แน่นอนที่น้อยกว่า

ค่าผิดพลาด b (ขั้นตอน 10) สามารถถูกคาดว่าเป็นผลเชิงระบบ ใน GUM เป็นข้อเสนอแนะให้ใช้ค่าแก้เพื่อชดเชยสำหรับผลเชิงระบบเช่นนั้น ซึ่งเป็นพื้นฐานของ M2 ดังนั้นขีดจำกัดค่าผิดพลาด (u_E) จึงมิได้นำไปใช้ใน

การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอน แต่ค่าความแข็งที่หาค่าได้ทั้งหมดต้องได้รับการแก้ด้วย b หรือเพิ่มค่า U_{corr} ด้วย b วิธีการสำหรับการหาค่าของ U_{corr} อธิบายไว้ในตารางที่ ง.1 (ดูบรรณานุกรม [9] และ [10])

$$U_{\text{corr}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{CRM}}^2 + u_H^2 + u_x^2 + u_{\text{ms}}^2 + u_b^2} \quad (\text{ง.3})$$

เมื่อผลการวัดหาจากสมการ (ง.4)

$$\bar{X}_{\text{corr}} = (\bar{x} + \bar{b}) \pm U_{\text{corr}} \quad (\text{ง.4})$$

หรือ จากสมการ (ง.5)

$$\bar{X}_{U_{\text{corr}}} = \bar{x} \pm (U_{\text{corr}} + |\bar{b}|) \quad (\text{ง.5})$$

ขึ้นกับการพิจารณาว่า ค่าเอนเอียง (ค่าผิดพลาด) $\bar{b}$ เป็นส่วนหนึ่งของค่ามัชฌิมหรือของความไม่แน่นอน

ง.5 นิพจน์ของผลการวัด

ควรชี้แจงวิธีการที่ใช้สำหรับนิพจน์ของผลการวัด โดยทั่วไปควรใช้ M1 [สมการ (ง.2)] ในการแสดงผลการวัด (ดูตารางที่ ง.1 ขั้นตอน 12 ประกอบ)

ตารางที่ ง.1 การหาค่าความไม่แน่นอนขยายตามวิธีการ M1 และ M2

ขั้นตอน วิธีการ	แหล่งความไม่แน่นอน	สัญลักษณ์	สูตรการคำนวณ	เอกสารข้อมูล/ใบรับรอง	ตัวอย่าง [..] = HV1
1 M1	ความไม่แน่นอนมาตรฐาน เนื่องจากค่าผิดพลาดที่ยอมให้ สูงสุด	u_E	$u_E = \frac{u_{E,2r} \cdot \bar{X}_{CRM}}{2.8}$	ค่าผิดพลาดที่ยอมให้ $u_{E,2r}$ ตาม ISO 6507- 2:2005 ตารางที่ 5 $\bar{X}_{CRM}$ จากใบรับรองการ สอบเทียบ ดูหมายเหตุ 1	$u_E = \frac{0.04 \times 376}{2.8} = 5.37$
2 M1 M2	ความไม่แน่นอนมาตรฐานและ ค่ามัธยฐานความแข็งของ CRM (การคำนวณโดยละเอียด ดู ISO 6507-3:2005 ตารางที่ A.4)	$u_{CRM},$ $\bar{X}_{CRM}$	$u_{CRM} = \frac{U_{CRM}}{2}$	$U_{CRM}, \bar{X}_{CRM}$ ตามใบรับรอง การสอบเทียบของ CRM ดูหมายเหตุ 2	$u_{CRM} = \frac{6.00}{2} = 3.00$ $\bar{X}_{CRM} = 376.0$
3 M1 M2	ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของการวัดบน CRM	$\bar{H}, s_H$	$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$ $s_H = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}$	H_i ตาม ISO 6507-2:2005 ข้อ 5.9 สำหรับการคำนวณ s_H ให้ เลือกค่าที่มากกว่าระหว่าง s_{H1} กับ s_{H2}	การวัดเดี่ยว: (1) 377 - 376 - 377 - 377 - 377 $\bar{H}_1 = 376.8; s_{H1} = 0.45$ (2) 376 - 377 - 376 - 378 - 376 $\bar{H}_2 = 376.6; s_{H2} = 0.89$
4 M1 M2	ความไม่แน่นอนมาตรฐานของ เครื่องทดสอบความแข็งเมื่อทำ การวัด CRM	$u_{\bar{H}}$	$u_{\bar{H}} = \frac{t \cdot s_H}{\sqrt{n}}$	$t = 1.14$ สำหรับ $n = 5$	$u_{\bar{H}} = \frac{1.14 \times 0.89}{\sqrt{5}} = 0.45$
5 M1 M2	ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของการทดสอบชิ้น ทดสอบ	$\bar{x}, s_x$	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ $s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	$n = 5$ การวัด 5 ครั้งบน ชิ้นทดสอบ ดูหมายเหตุ 3 หาก $n = 1, s_x = 0$ ใบรับรองควรระบุว่า ความ ไม่แน่นอนใช้ได้กับค่า จำเพาะที่อ่านได้ ไม่ใช่กับ ชิ้นทดสอบทั้งหมด	ค่าเดี่ยว 419 - 439 - 449 - 442 - 444 $\bar{x} = 438.6$ $s_x = 11.55$

ขั้นตอน วิธีการ	แหล่งความไม่แน่นอน	สัญลักษณ์	สูตรการคำนวณ	เอกสารข้อมูล/ใบรับรอง	ตัวอย่าง [.] = HV1
6 M1 M2	ความไม่แน่นอนมาตรฐานเมื่อทำการวัดขึ้นทดสอบ	$u_{\bar{x}}$	$u_{\bar{x}} = \frac{t \cdot s_x}{\sqrt{n}}$	$t = 1.14$ สำหรับ $n = 5$	$u_{\bar{x}} = \frac{1.14 \times 11.55}{\sqrt{5}} = 5.89$
7 M2	ความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากความละเอียดของระบบการวัดความยาว	u_{ms}	$u_{ms} = \frac{2H}{d} \cdot \frac{\delta_{ms}}{2\sqrt{3}}$	$\delta_{ms} = 0.000\ 1$ mm $H = 438.6$ HV $d = 0.065$ mm	$u_{ms} = \frac{438.6}{0.065} \times \frac{0.000\ 1}{\sqrt{3}} = 0.39$
8 M2	ค่าเบี่ยงเบนของเครื่องทดสอบความแข็งจากค่าสอบเทียบ	$\bar{b}$	$b_i = \bar{H}_i - \bar{X}_{CRM}$ $\bar{b} = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} b_i$	ขั้นตอน 2 และ 3 สำหรับเลขของชุดการวัด $n_m = 2$ ดูหมายเหตุ 4	$b_1 = 376.8 - 376 = 0.8$ $b_2 = 376.6 - 376 = 0.6$ $\bar{b} = 0.7$
9 M2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเบี่ยงเบน b	s_b	$s_b = \sqrt{\frac{1}{n_m - 1} \sum_{i=1}^{n_m} (b_i - \bar{b})^2}$	ขั้นตอน 8 สำหรับ $n_m = 2$	$s_b = 0.14$
10 M2	ความไม่แน่นอนมาตรฐานของการหาค่า b สามารถหาค่าได้หลังจากชุดการวัดที่สองเป็นต้นไป	u_b	$u_b = \frac{t \cdot s_b}{\sqrt{n_m}}$	ขั้นตอน 9 $t = 1.84$ สำหรับ $n_m = 2$ ดูหมายเหตุ 5	$u_b = \frac{1.84 \times 0.14}{\sqrt{2}} = 0.18$
11 M1	การหาค่าความไม่แน่นอนขยาย	U	$U = k \cdot \sqrt{u_E^2 + u_{CRM}^2 + u_{\bar{H}}^2 + u_{\bar{x}}^2 + u_{ms}^2}$	ขั้นตอน 1 ถึง 7 $k = 2$	$U = 2 \times \sqrt{5.37^2 + 3.00^2 + 0.45^2 + 5.89^2 + 0.39^2}$ $U = 17.07$ HV
12 M1	ผลการวัด	$\bar{X}$	$\bar{X} = \bar{x} \pm U$	ขั้นตอน 5 และ 11	$\bar{X} = (438.6 \pm 17.1)$ HV (M1)
13 M2	การหาค่าความไม่แน่นอนขยายที่แก้แล้ว	U_{corr}	$U_{corr} = k \cdot \sqrt{u_{CRM}^2 + u_{\bar{H}}^2 + u_{\bar{x}}^2 + u_{ms}^2 + u_b^2}$	ขั้นตอน 2 ถึง 7 และ 10 $k = 2$	$U_{corr} = 2 \times \sqrt{3.00^2 + 0.45^2 + 5.89^2 + 0.39^2 + 0.18^2}$ $U_{corr} = 13.28$ HV

ขั้นตอน วิธีการ	แหล่งความไม่แน่นอน	สัญลักษณ์	สูตรการคำนวณ	เอกสารข้อมูล/ใบรับรอง	ตัวอย่าง [..] = HV1
14 M2	ผลการวัดด้วยค่ามัธยฐานที่แก้แล้ว	$\bar{X}_{\text{corr}}$	$\bar{X}_{\text{corr}} = (\bar{x} + \bar{b}) \pm U_{\text{corr}}$	ขั้นตอน 5, 8 และ 13	$\bar{X}_{\text{corr}} = (439.3 \pm 13.3) \text{ HV (M2)}$
15 M2	ผลการวัดด้วยความไม่แน่นอนที่แก้แล้ว	$\bar{X}_{u\text{corr}}$	$\bar{X}_{u\text{corr}} = (\bar{x} \pm U_{\text{corr}} + \bar{b})$	ขั้นตอน 5, 8 และ 13	$\bar{X}_{u\text{corr}} = (438.6 \pm 14.0) \text{ HV (M2)}$
หมายเหตุ 1 ค่าปัจจัย 2.8 ได้มาจากการหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานสำหรับการแจกแจงเอกรูป (rectangular distribution) หมายเหตุ 2 หากจำเป็น ให้พิจารณาถึงการเปลี่ยนความแข็งของ CRM หมายเหตุ 3 หากมีการเปลี่ยนเลนส์ของอุปกรณ์ระหว่างการวัด CRM และขึ้นทดสอบ ควรพิจารณาอิทธิพลที่เกี่ยวข้อง หมายเหตุ 4 หาก $0.8 u_{E,2r} < b < 1.0 u_{E,2r}$ ควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งระหว่าง CRM กับตัวอย่าง หมายเหตุ 5 สำหรับ $n_m = 2$ อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของ b จะมีได้ถูกรวมอยู่ในความไม่แน่นอน u_b ดังนั้นสำหรับการใช้งานวิกฤต อาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนชุดการวัด n_m					

บรรณานุกรม

- [1] ISO 6507-3, *Metallic materials – Vickers hardness test – Part 3: Calibration of reference blocks*
- [2] BÜCKLE, H. *Mikrohärteprüfung und ihre Anwendung*. Verlag Berliner Union Stuttgart, 1965, pp. 296. (Note: very extensive.)
- [3] BÜCKLE, H. *Echte und scheinbare Fehlerquellen bei der Mikrohärteprüfung: Ihre Klassifizierung und Auswirkung auf die Messwerte*. VDI-Berichte **11** (1957), pp. 29-43. (Note: extensive.)
- [4] DENGEL, D. *Wichtige Gesichtspunkte für die Härtemessung nach Vickers und nach Knoop im Bereich der Kleinlast- und Mikrohärte*, Z. f. Werkstofftechnik **4** (1973), pp. 292-298. (Note: short extract.)
- [5] MATTHAEI, E. *Härteprüfung mit kleinen Prüfkraften und ihre Anwendung bei Randschichten (kritische Literaturbewertung)*, pp. 47, 192 Schrifttumshinweise. Verlag DGM-Informationsgesellschaft Oberursel, 1987. (Note: overall view of sources.)
- [6] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, 1993¹⁾
- [7] EA 10-16, *Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements*, 2001
- [8] GABAUER W., *Manual of Codes of Practice for the Determination of Uncertainties in Mechanical Tests on Metallic Materials*, The Estimation of Uncertainties in Hardness Measurements, Project, No. SMT4-CT97-2165, UNCERT COP 14:2000
- [9] GABAUER W., BINDER O., *Abschätzung der Messunsicherheit in der Härteprüfung unter Verwendung der indirekten Kalibriermethode*, DVM Werkstoffprüfung, Tagungsband 2000, S. pp. 255-261
- [10] POLZIN T., SCHWENK D., *Estimation of Uncertainty of Hardness Testing; PC file for the determination*, Materialprüfung, **3**, 2002 (44), pp. 64-71

¹⁾ Corrected and reprinted:1995