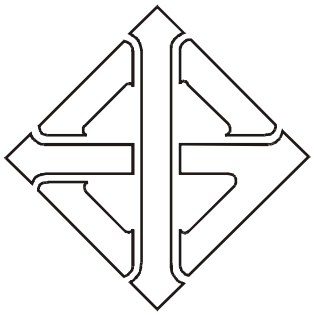


มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 408 – 2553

ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง

COPPER AND COPPER ALLOYS FOR GENERAL ELECTRICAL PURPOSES : ROD AND BAR

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 29.050; 77.120.30

ISBN 978-616-231-231-1

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง

มอก.408—2553

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 128 ตอนพิเศษ 18ง
วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2554

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 276
มาตรฐานทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า

ประธานกรรมการ

นายชายชาญ โพธิสาร	สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

กรรมการ

นายเสน่ห์ ตรีขันธ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
นายธีระเดช วงศ์สุบรรณ	การไฟฟ้านครหลวง
นายสมเกียรติ วิรุฬห์เวศม์กุล	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
นางสุนิดา แดงรัตนวงศ์	สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
นางนิภา สุนทรธนโสภณ	บริษัท จรุงไทยไวร์แอนด์เคเบิ้ล จำกัด (มหาชน)
นายเจริญ ร่มเพชร	บริษัท ที ไอ ซี โมดูลาร์ ซิสเต็ม จำกัด
นายกฤษณะ มากทรัพย์	บริษัท เฟ้ลปส์ ดอด์จ อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด
นายสมชาย จันทร	บริษัท สายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด
นายวิโรจน์ กมลเดชเดชา	บริษัท โอเรียนเต็ลคอปเปอร์ จำกัด
นายมงคล รูปพรหม	

กรรมการและเลขานุการ

นายพุฒิพงศ์ คงเจริญ	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง นี้ ได้ประกาศใช้ครั้งแรกเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง มาตรฐานเลขที่ มอก.408-2525 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 99 ตอนที่ 59 วันที่ 26 เมษายน พุทธศักราช 2525 ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ทันสมัยและเป็นไปตามเอกสารอ้างอิงฉบับล่าสุด จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยการยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นเล่มหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า อันประกอบด้วย

มอก.308-2554	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า : ลวดกลม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการตาม

BS EN 13601 (2002)	Copper and copper alloys – Copper rod, bar and wire for general electrical purposes

และกำหนดการทดสอบตาม

BS EN 10002-1 (2001)	Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at ambient temperature
BS EN ISO 2626 (1995)	Copper – Hydrogen embrittlement test
BS EN ISO 6506-1 (1999)	Metallic materials – Brinell hardness test – Part 1: Test method
BS EN ISO 6507-1 (1998)	Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method
BS EN ISO 7438 (2000)	Metallic materials – Bend test
IEC 60468 (1974)	Method of measurement of resistivity of metallic materials

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4280 (พ.ศ. 2553)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง

และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง มาตรฐานเลขที่ มอก. 408-2525

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 592 (พ.ศ. 2525) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง ลงวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2525 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า : เส้น และแท่ง มาตรฐานเลขที่ มอก.408-2553 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 180 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553

ชัยวุฒิ บรรณวัฒน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ทองแดงและทองแดงเจือสำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า
: เส้น และแท่ง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดองค์ประกอบ คุณลักษณะที่ต้องการ รวมถึงสมบัติทางไฟฟ้า และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาดและรูปร่างของทองแดงเส้น และแท่ง สำหรับจุดประสงค์ทั่วไปทางไฟฟ้า ที่มีภาคตัดขวางและพิสัยขนาดดังต่อไปนี้

- เส้นกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส และหกเหลี่ยมด้านเท่า ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 80 มิลลิเมตร
- แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 40 มิลลิเมตร และมีความกว้างตั้งแต่ 3 มิลลิเมตร ถึง 200 มิลลิเมตร

นอกจากนี้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ยังกำหนดวิธีดำเนินการชักตัวอย่าง วิธีการทดสอบเพื่อทวนสอบการเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานนี้ และสภาพการส่งมอบ

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

มอก.9001, ระบบการบริหารงานคุณภาพ : ข้อกำหนด

3. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

3.1 เส้น/แท่ง (rod/bar) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะตันที่มีภาคตัดขวางเท่ากันตลอดทั้งความยาว เป็นเส้นตรงหรือแท่งตรง ภาคตัดขวางเป็นรูปวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หกเหลี่ยมด้านเท่า หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยที่ภาคตัดขวางสี่เหลี่ยมจัตุรัส หกเหลี่ยมด้านเท่า หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาจมีรัศมีลบมุมตลอดทั้งความยาว

3.2 ความกลม (เส้นกลม) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดกับต่ำสุด วัดที่ภาคตัดขวางใดๆ

4. การระบุชื่อ

4.1 วัสดุ

4.1.1 ทั่วไป

การระบุชื่อวัสดุทำได้โดยการใช้สัญลักษณ์หรือหมายเลข (ดูตารางที่ 1)

4.1.2 สัญลักษณ์[t1]

การระบุสัญลักษณ์ของวัสดุให้ยึดถือดังนี้

4.1.2.1 ทองแดง

การระบุสัญลักษณ์ต้องประกอบด้วยสัญลักษณ์ของธาตุทองแดง (Cu) ตามด้วยตัวอักษรระบุชนิดของทองแดง (ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่) โดยมีเครื่องหมายขีด (-) คั่น เช่น Cu-ETP คือทองแดงชนิดอิเล็กโทรไลติกทัฟพิตช์ (electrolytic tough pitch) Cu-FRHC คือทองแดงชนิดไฟร์-รีไฟน์ทัฟพิตช์ (fire-refined tough pitch) Cu-OF คือทองแดงชนิดปราศจากออกซิเจน (oxygen-free) Cu-PHC และ Cu-HCP คือ ทองแดงชนิดดีออกซิไดซ์ (deoxidized) เป็นต้น (ดูภาคผนวก ก.)

4.1.2.2 ทองแดงเจือเงิน

การระบุสัญลักษณ์ต้องประกอบด้วยสัญลักษณ์ของธาตุทองแดง (Cu) ซึ่งเป็นธาตุหลักตามด้วยสัญลักษณ์ของธาตุเงิน (Ag) โดยระบุตัวเลขร้อยละของปริมาณธาตุเงินต่อท้าย และตามด้วยสัญลักษณ์ของธาตุที่มีการควบคุมปริมาณ (ถ้ามี) เช่น CuAg0.04P คือทองแดงที่มีธาตุเงินปนอยู่ร้อยละ 0.04 โดยมวล และมีการควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส (ที่ใช้เป็นสารดีออกซิไดซ์) (ดูภาคผนวก ก.)

4.1.3 หมายเลข[t2]

การระบุหมายเลขของวัสดุให้เป็นดังนี้

หมายเลขประกอบด้วยตัวอักขระ 6 ตำแหน่ง

- ตำแหน่งที่หนึ่ง คือ C หมายถึง ทองแดง
- ตำแหน่งที่สอง คือ W หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูป

- ตำแหน่งที่สามถึงหก คือตัวเลขสามหลักและตัวอักษร 1 ตัว ซึ่งแสดงชนิดของทองแดง (ดูตารางที่ 1)

เช่น CW004A คือ ทองแดงชนิดอิเล็กโทรไลติกทัฟพิตช์ (Cu-ETP)

4.2 สภาพวัสดุ[t3]

สำหรับจุดประสงค์ของมาตรฐานนี้ ให้ใช้การระบุชื่อดังต่อไปนี้

D สภาพวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น โดยไม่กำหนดสมบัติทางกล

Hxxx* สภาพวัสดุที่ระบุโดยค่าความแข็งต่ำสุดสำหรับผลิตภัณฑ์ ตามข้อกำหนดด้านความแข็ง

Ryyy** สภาพวัสดุที่ระบุโดยค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดสำหรับผลิตภัณฑ์ ตามข้อกำหนดด้านความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงพิสูจน์ที่ร้อยละ 0.2 และข้อกำหนดด้านการยืด

หมายเหตุ * ผลิตภัณฑ์ในสภาพวัสดุ Hxxx อาจกำหนดเป็นความแข็งวิกเกอร์สหรือบริเนลล์ การระบุชื่อสภาพวัสดุ Hxxx เป็นแบบเดียวกันสำหรับวิธีการทดสอบทั้ง 2 วิธี และ xxx คือตัวเลขแสดงค่าความแข็งต่ำสุด

หมายเหตุ ** yyy คือตัวเลขแสดงค่าความต้านแรงดึงต่ำสุด

ไม่สามารถใช้การแปลงค่าที่แน่นอนระหว่างการระบุชื่อสภาพวัสดุ Hxxx กับการระบุสภาพวัสดุ Ryyy ได้

ให้ระบุชื่อสภาพวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งในการระบุชื่อสภาพวัสดุดังกล่าวข้างต้น

4.3 ผลิตภัณฑ์

การระบุชื่อผลิตภัณฑ์ได้กำหนดเป็นรูปแบบมาตรฐาน เพื่อสื่อถึงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนและรวดเร็ว ทำให้เกิดความเข้าใจร่วมกันในระดับระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

การระบุชื่อผลิตภัณฑ์สำหรับมาตรฐานนี้ต้องประกอบด้วย

ก) ประเภท (เส้น หรือ แท่ง)

ข) หมายเลขมาตรฐาน

ค) การระบุชื่อวัสดุ โดยการใช้สัญลักษณ์หรือหมายเลข (ดูตารางที่ 1)

ง) การระบุชื่อสภาพวัสดุ (ดูตารางที่ 2)

จ) รูปภาคตัดขวาง (ต้องใช้การระบุชื่อดังต่อไปนี้ตามความเหมาะสม)

- RND : วงกลม
- SQR : สี่เหลี่ยมจัตุรัส
- HEX : หกเหลี่ยมด้านเท่า

ฉ) ขนาดภาคตัดขวางระบุหน่วยเป็นมิลลิเมตร

- เส้นกลม : เส้นผ่านศูนย์กลาง
- เส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหกเหลี่ยมด้านเท่า : ความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน
- แท่ง : ความหนา × ความกว้าง

ช) ประเภทของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน สำหรับเส้นกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือหกเหลี่ยมด้านเท่า (ดูตารางที่ 4)

ซ) แบบของมุมหรือขอบ สำหรับเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหกเหลี่ยมด้านเท่า แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ต้องใช้การระบุชื่อดังต่อไปนี้ตามความเหมาะสม) (ดูข้อ 6.6.2)

- SH : ไม่ลบมุม
- RD : ลบมุม
- CE : ขอบครึ่งวงกลม

การอธิบายการระบุชื่อผลิตภัณฑ์ดังแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ในข้อนี้

ตัวอย่างที่ 1 เส้นทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้าที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ มีวัสดุเป็น Cu-ETP หรือ CW004A สภาพวัสดุเป็น H085 เส้นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนประเภท A ต้องระบุชื่อผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

Rod TIS 408 - Cu-ETP - H085 - RND15A

หรือ

Rod TIS 408 - CW004A - H085 - RND15A

ประเภท

หมายเลขมาตรฐาน

การระบุชื่อวัสดุ

การระบุชื่อสภาพวัสดุ

รูปภาคตัดขวาง ขนาดภาคตัดขวางหน่วยเป็นมิลลิเมตร ประเภทของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างที่ 2 แท่งทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้าที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ มีวัสดุเป็น CuAg0.10 หรือ CW013A สภาพวัสดุเป็น R280 แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า หนา 15 มิลลิเมตร กว้าง 100 มิลลิเมตร ขอบครึ่งวงกลม ต้องระบุชื่อผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

Bar TIS 408 - CuAg0.10 - R280 - 15 × 100 - CE

หรือ

Bar TIS 408 - CW013A - R280 - 15 × 100 - CE

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของทองแดง

(ข้อ 4.1.1 ข้อ 4.3 ข้อ 5. ง) และข้อ 6.1)

การระบุชื่อวัสดุ		ร้อยละขององค์ประกอบ (โดยมวล)								
		ธาตุ	ทองแดง	เงิน	บิสมัท	ออกซิเจน	ฟอสฟอรัส	ตะกั่ว	ธาตุอื่นๆ (ดูหมายเหตุ)	
สัญลักษณ์	หมายเลข								รวม	ไม่นับ
Cu-ETP	CW004A	ต่ำสุด	99.90[ก]	-	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	-	0.000 5	0.040[ข]	-	0.005	0.03	ออกซิเจน
Cu-FRHC	CW005A	ต่ำสุด	99.90[ก]	-	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	-	-	0.040[ข]	-	-	0.04	ออกซิเจน
Cu-OF	CW008A	ต่ำสุด	99.95[ก]	-	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	-	0.000 5	-[ค]	-	0.005	0.03	
CuAg0.04	CW011A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.03	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.05	0.000 5	0.040	-	-	0.03	ออกซิเจน
CuAg0.07	CW012A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.06	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.08	0.000 5	0.040	-	-	0.03	ออกซิเจน
CuAg0.10	CW013A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.08	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.12	0.000 5	0.040	-	-	0.03	ออกซิเจน
CuAg0.04P	CW014A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.03	-	-	0.001	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.05	0.000 5	-[ค]	0.007	-	0.03	ฟอสฟอรัส
CuAg0.07P	CW015A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.06	-	-	0.001	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.08	0.000 5	-[ค]	0.007	-	0.03	ฟอสฟอรัส
CuAg0.10P	CW016A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.08	-	-	0.001	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.12	0.000 5	-[ค]	0.007	-	0.03	ฟอสฟอรัส
CuAg0.04(OF)	CW017A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.03	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.05	0.000 5	-[ค]	-	-	0.006 5	ออกซิเจน
CuAg0.07(OF)	CW018A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.06	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.08	0.000 5	-[ค]	-	-	0.006 5	ออกซิเจน
CuAg0.10(OF)	CW019A	ต่ำสุด	ส่วนที่เหลือ	0.08	-	-	-	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	0.12	0.000 5	-[ค]	-	-	0.006 5	ออกซิเจน
Cu-PHC	CW020A	ต่ำสุด	99.95[ก]	-	-	-	0.001	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	-	0.000 5	-[ค]	0.006	0.005	0.03	ฟอสฟอรัส
Cu-HCP	CW021A	ต่ำสุด	99.95[ก]	-	-	-	0.002	-	-	เงิน
		สูงสุด	-	-	0.000 5	-[ค]	0.007	0.005	0.03	ฟอสฟอรัส

หมายเหตุ ปริมาณรวมของธาตุอื่นๆ (นอกเหนือจากทองแดง) คือ ปริมาณรวมของเงิน สารหนู บิสมัท แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ตะกั่ว กำมะถัน พลวง ซีลีเนียม ซิลิคอน ดีบุก เทลลูเรียม และสังกะสี

[ก] นับรวมธาตุเงิน สูงสุดได้ถึงร้อยละ 0.015

[ข] ปริมาณออกซิเจน สูงสุดได้ถึงร้อยละ 0.060 ขึ้นกับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

[ค] ปริมาณออกซิเจน ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดด้านความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจน

ตารางที่ 2 สมบัติทางกล

(ข้อ 4.3 ข้อ 5. จ) ข้อ 6.2 และข้อ 6.7.1 ค))

การระบุชื่อ			เส้นกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส และหกเหลี่ยมด้านเท่า			แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า						ความแข็ง				ความต้านแรงดึง R_m	ความต้านแรงดึงพิสูจน์ ที่ร้อยละ 0.2 $R_{p0.2}$	การยืดในความยาวพิกัด	
			เส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน mm			ความหนา mm			ความกว้าง mm			บริเนลล์		วิกเกอร์ส				$A_{100\ mm}$	A
วัสดุ		สภาพวัสดุ														N/mm^2	N/mm^2	%	%
สัญลักษณ์	หมายเลข		ตั้งแต่	มากกว่า	จนถึง	ตั้งแต่	มากกว่า	จนถึง	ตั้งแต่	มากกว่า	จนถึง	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด		ต่ำสุด	ต่ำสุด
		D	2	-	80	2	-	40	3	-	200	ผ่านการขึ้นรูปเย็นโดยไม่กำหนดสมบัติทางกล							
Cu-ETP	CW004A	H035[ก]	2	-	80	2	-	40	3	-	200	35	65	35	65	-	-	-	-
Cu-FRHC	CW005A	R200[ก]	2	-	80	2	-	40	5	-	200	-	-	-	-	200	สูงสุด 120	25	35
Cu-OF	CW008A																		
CuAg0.04	CW011A	H065	2	-	80	2	-	40	3	-	200	65	90	70	95	-	-	-	-
CuAg0.07	CW012A	R250	2	-	10	2	-	10	5	-	200	-	-	-	-	250	ต่ำสุด 200	8	12
CuAg0.10	CW013A	R250	-	10	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	ต่ำสุด 180	-	15
CuAg0.04P	CW014A	R230	-	30	80	-	10	40	-	10	200	-	-	-	-	230	ต่ำสุด 160	-	18
CuAg0.07P	CW015A																		
CuAg0.10P	CW016A	H085	2	-	40	2	-	20	3	-	120	85	110	90	115	-	-	-	-
CuAg0.04(OF)	CW017A	H075	-	40	80	-	20	40	-	20	160	75	100	80	105	-	-	-	-
CuAg0.07(OF)	CW018A	R300	2	-	20	2	-	10	5	-	120	-	-	-	-	300	ต่ำสุด 260	5	8
CuAg0.10(OF)	CW019A	R280	-	20	40	-	10	20	-	10	120	-	-	-	-	280	ต่ำสุด 240	-	10
Cu-PHC	CW020A	R260	-	40	80	-	20	40	-	20	160	-	-	-	-	260	ต่ำสุด 220	-	12
Cu-HCP	CW021A																		
		H100	2	-	10	2	-	5	3	-	120	100	-	110	-	-	-	-	-
		R350	2	-	10	2	-	5	5	-	120	-	-	-	-	350	ต่ำสุด 320	3	5

หมายเหตุ 1 N/mm^2 เท่ากับ 1 MPa

[ก] อบอ่อน

มอก.408-2553

5. ข้อมูลการสั่งซื้อ

ดูภาคผนวก ซ.

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 องค์ประกอบ

องค์ประกอบต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับวัสดุที่เหมาะสมซึ่งระบุไว้ในตารางที่ 1

หมายเหตุ สำหรับลักษณะเฉพาะของทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า ดูภาคผนวก ก.

6.2 สมบัติทางกล

สมบัติทางกลต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในตารางที่ 2

การทดสอบต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 8.2 (การทดสอบการดึง) หรือข้อ 8.3 (การทดสอบความแข็ง) แล้วแต่กรณี

6.3 ลักษณะเฉพาะของการดัดโค้ง

ในกรณีที่ต้องการลักษณะเฉพาะของการดัดโค้ง ต้องเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย การทดสอบต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 8.4

6.4 สมบัติทางไฟฟ้า

สมบัติทางไฟฟ้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 การทดสอบต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 8.5

ตารางที่ 3 สมบัติทางไฟฟ้า (ที่ 20 องศาเซลเซียส)

(ข้อ 6.4)

การระบุชื่อ				สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$ สูงสุด	สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงมวล[ก] $\frac{\Omega \times g}{m^2}$ สูงสุด	สภาพนำไฟฟ้า	
วัสดุ		สภาพวัสดุ				MS/m ต่ำสุด	%IACS[ข] ต่ำสุด
สัญลักษณ์	หมายเลข						
Cu-ETP	CW004A	D		0.017 86	0.158 8	56.0	96.6
Cu-FRHC	CW005A	H035	R200	0.017 24	0.153 3	58.0	100.0
Cu-OF	CW008A	H065	R250	0.017 54	0.155 9	57.0	98.3
CuAg0.04	CW011A	H065	R230				
CuAg0.07	CW012A	H085	R300				
CuAg0.10	CW013A	H085	R280				
CuAg0.04 (OF)	CW017A	H075	R260				
CuAg0.07 (OF)	CW018A						
CuAg0.10 (OF)	CW019A						
Cu-PHC	CW020A	H100	R350	0.017 86	0.158 8	56.0	96.6
		D		0.018 18	0.161 6	55.0	94.8
		H035	R200	0.017 54	0.155 9	57.0	98.3
CuAg0.04P	CW014A	H065	R250	0.017 86	0.158 8	56.0	96.6
CuAg0.07P	CW015A	H065	R230				
CuAg0.10P	CW016A	H085	R300				
Cu-HCP	CW021A	H085	R280				
		H075	R260				
		H100	R350	0.018 18	0.161 6	55.0	94.8

หมายเหตุ 1 %IACS คือ ค่าที่คำนวณจากร้อยละของค่ามาตรฐานสำหรับทองแดงอบอ่อนสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า โดยทองแดงที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร 0.017 24 $\mu\Omega \times m$ ที่อุณหภูมิ 20 °C สอดคล้องกับสภาพนำไฟฟ้า 100 %

หมายเหตุ 2 1 MS/m เท่ากับ 1 $m/(\Omega \times mm^2)$

[ก] คำนวณด้วยความหนาแน่นทองแดง 8.89 g/cm^3

[ข] IACS: International Annealed Copper Standard

6.5 ความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจน

เส้น และแท่งสำหรับทองแดงชั้นคุณภาพ Cu-OF (CW008A) CuAg0.04P (CW014A) CuAg0.07P (CW015A) CuAg0.10P (CW016A) CuAg0.04(OF) (CW017A) CuAg0.07(OF) (CW018A) CuAg0.10(OF) (CW019A) Cu-PHC (CW020A) และ Cu-HCP (CW02A) ต้องมีความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจน โดยไม่เกิดรอยแตกรานที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อทดสอบตามข้อ 8.6

6.6 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

6.6.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง หรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน

เส้นผ่านศูนย์กลาง หรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานของเส้นหรือแท่งกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หกเหลี่ยมด้านเท่า หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้เป็นไปตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติสำหรับเส้นกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส และหกเหลี่ยมด้านเท่า

(ข้อ 4.3 ช) ข้อ 6.6.1 และภาคผนวก ซ. ข้อ ซ))

ขนาดระบุ mm		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน[ก] mm			
มากกว่า	จนถึง	เส้นกลม[ข] (เส้นผ่านศูนย์กลาง)		เส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และหกเหลี่ยมด้านเท่า (ความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน)	
		ประเภท A	ประเภท B	ประเภท A	ประเภท B
2[ค]	3	0 - 0.06	± 0.03	-	-
3	6	0 - 0.08	± 0.04	0 - 0.12	± 0.06
6	10	0 - 0.09	± 0.05	0 - 0.15	± 0.08
10	18	0 - 0.11	± 0.06	0 - 0.18	± 0.09
18	30	0 - 0.13	± 0.07	0 - 0.21	± 0.11
30	50	0 - 0.16	± 0.08	0 - 0.25	± 0.13
50	80	0 - 0.19	± 0.10	0 - 0.30	± 0.15

[ก] เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนประเภท A คือเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนด้านลบเท่านั้น และประเภท B คือเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทั้งด้านบวกและด้านลบ

[ข] เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางจะรวมถึงความกลม (ดูข้อ 3.2) โดยไม่เกินครึ่งหนึ่งของที่กำหนดในตาราง

[ค] รวมขนาด 2 mm ด้วย

ตารางที่ 5 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างและความหนาของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

(ข้อ 6.6.1)

ความกว้างระบุ[ก] mm		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความกว้าง mm	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความหนาระบุ สำหรับแต่ละช่วงความหนา mm					
มากกว่า	จนถึง		ตั้งแต่ 2 จนถึง 3	มากกว่า 3 จนถึง 6	มากกว่า 6 จนถึง 10	มากกว่า 10 จนถึง 18	มากกว่า 18 จนถึง 30	มากกว่า 30 จนถึง 40
3[ข]	10	± 0.08	± 0.03	± 0.04	± 0.07	-	-	-
10	18	± 0.10	± 0.03	± 0.04	± 0.07	± 0.10	-	-
18	30	± 0.15	± 0.04	± 0.06	± 0.08	± 0.10	± 0.15	-
30	50	± 0.20	± 0.05	± 0.08	± 0.10	± 0.12	± 0.15	± 0.20
50	80	± 0.25	± 0.06	± 0.10	± 0.12	± 0.15	± 0.18	± 0.20
80	120	± 0.30	-	± 0.12	± 0.15	± 0.18	± 0.20	± 0.25
120	160	± 0.40	-	-	± 0.18	± 0.20	± 0.25	± 0.30
160	200	± 0.50	-	-	± 0.20	± 0.25	± 0.30	± 0.40

[ก] หากอัตราส่วนของความกว้างระบุ ต่อ ความหนาระบุ มากกว่า 20 ต่อ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนต้องตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

[ข] รวมขนาด 3 mm ด้วย

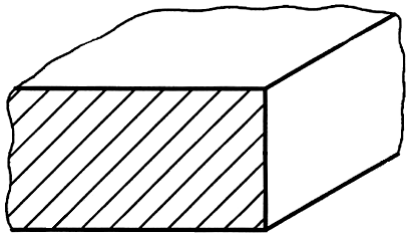
6.6.2 รูปร่างของมุมหรือขอบ

6.6.2.1 ทั่วไป

เส้น และแท่งอาจไม่ลบมุม (SH) ลบมุม (RD) หรือมีขอบครึ่งวงกลม (CE) ในคำสั่งซื้อควรระบุแบบของมุมหรือขอบ (ดู ภาคผนวก ซ. ข้อ ฌ))

6.6.2.2 ไม่ลบมุม

เส้น และแท่งสี่เหลี่ยมจัตุรัส หกเหลี่ยมด้านเท่า และสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ไม่ลบมุม (ดูรูปที่ 1) ต้องเป็นไปตามตารางที่ 6



รูปที่ 1 แสดงลักษณะที่ไม่ลบมุม

(ข้อ 6.6.2.2)

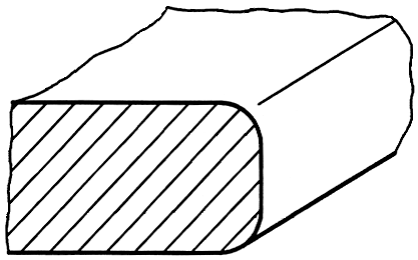
ตารางที่ 6 ค่าสูงสุดของรัศมีสำหรับเส้นและแท่งที่ไม่ลบมุม

(ข้อ 6.6.2.2)

ความหนาระบุ หรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานระบุ mm		ค่าสูงสุดของรัศมีมุม mm
มากกว่า	จนถึง	
-	2	ตามข้อตกลง
2	6	0.3
6	10	0.4
10	18	0.5
18	30	0.6
30	80	0.8

6.6.2.3 ลบมุม

เส้น และแท่งสี่เหลี่ยมจัตุรัส หกเหลี่ยมด้านเท่า และสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ลบมุม (ดูรูปที่ 2) ต้องเป็นไปตามตารางที่ 7



รูปที่ 2 แสดงลักษณะที่ลบมุม

(ข้อ 6.6.2.3)

ตารางที่ 7 รัศมีสำหรับเส้นและแท่งที่ลบมุม

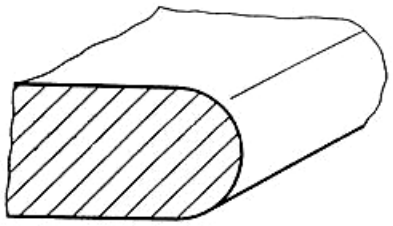
(ข้อ 6.6.2.3)

ความหนาระบุ หรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานระบุ mm		รัศมีมุม	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรัศมีมุม
มากกว่า	จนถึง	mm	mm
2[ก]	3	0.5	-
3	6	0.8	± 0.2
6	10	1.0	± 0.3
10	30	1.6	± 0.4
30	80	2.5	± 0.5

[ก] รวมขนาด 2 mm ด้วย

6.6.2.4 ขอบครึ่งวงกลม

รัศมีของขอบครึ่งวงกลมของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ดูรูปที่ 3) มีขนาดเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนา และต้องเป็นไปตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± ร้อยละ 20 ของรัศมี ส่วนโค้งต้องมีความต่อเนื่องกับด้านราบที่ติดกัน และต้องไม่มีคม ไม่ขรุขระ ไม่มีมุมยื่นออกมา



รูปที่ 3 แสดงลักษณะขอบครึ่งวงกลม

(ข้อ 6.6.2.4)

6.6.3 ความยาว

6.6.3.1 ทั่วไป

ความยาวของเส้น และแท่งต้องเป็น “ความยาวตามการผลิต” หรือ “ความยาวที่กำหนด”

6.6.3.2 ความยาวตามการผลิต

ความยาวตามการผลิตต้องเป็นความยาวระบุและมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความยาวตามการผลิต

(ข้อ 6.6.3.2)

ความยาวระบุ mm	เส้นผ่านศูนย์กลางระบุหรือความกว้างระบุ mm		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความยาว mm
	มากกว่า	จนถึง	
3 000, 3 500, 4 000, 4 500, 5 000, 5 500, 6 000	2[ก]	50	± 200
	50	120	± 300
ตามข้อตกลง	120	200	± 500
[ก] รวมขนาด 2 mmด้วย			

6.6.3.3 ความยาวที่กำหนด

ความยาวที่กำหนดมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 9

การเบี่ยงเบนจากความได้ฉากของรอยตัดต้องไม่เกินร้อยละ 2 ของเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานของเส้นและแท่ง และรวมอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความยาวที่กำหนด

ตารางที่ 9 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความยาวที่กำหนด

(ข้อ 6.6.3.3)

ความยาวที่กำหนด mm		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน mm
มากกว่า	จนถึง	
-	3 000	+ 5 0
3 000	6 000	+ 8 0
6 000	10 000	+ 10 0

6.7 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง

6.7.1 ทั่วไป

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่างตามข้อ 6.7.2 ถึงข้อ 6.7.4 ให้ใช้กับ

ก) เส้น และแท่ง

ข) เส้นผ่านศูนย์กลาง ความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน หรือความกว้างของสี่เหลี่ยมผืนผ้าตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรขึ้นไป

ค) ทุกสภาพวัสดุ ยกเว้นสภาพวัสดุ D และสภาพวัสดุ H035 หรือ R200 (ดูตารางที่ 2)

การวัดค่าเบี่ยงเบนของด้านใดๆ ให้วัดเมื่อวางเส้นหรือแท่งด้านนั้นบนแท่นระดับ (horizontal base plate)

6.7.2 ความบิด

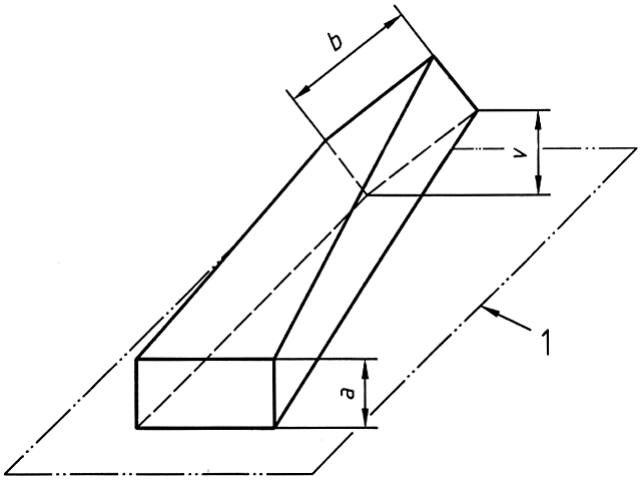
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความบิดของเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือหกเหลี่ยมด้านเท่า และแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้เป็นไปตามตารางที่ 10 (ดูข้อ 6.7.1)

ตารางที่ 10 ความบิดสูงสุดของเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหกเหลี่ยมด้านเท่า หรือแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

(ข้อ 6.7.2)

ความกว้างระบุ mm		ค่าสูงสุดของความบิด mm	
มากกว่า	จนถึง	ในทุกๆ ความยาว 1 m	ในความยาวทั้งหมด L m
10[ก]	18	1.0	$1.0 \times L$
18	30	1.5	$1.5 \times L$
30	50	2.0	$2.0 \times L$
50	80	3.0	$3.0 \times L$
80	120	4.5	$4.5 \times L$
120	200	6.0	$6.0 \times L$
[ก] รวมขนาด 10 mm ด้วย			

ความบิด *v* ต้องวัดตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 4



1 ระนาบอ้างอิง

a ความหนา

b ความกว้าง

v ความบิด

รูปที่ 4 การวัดความบิด

(ข้อ 6.7.2)

6.7.3 ความตรง

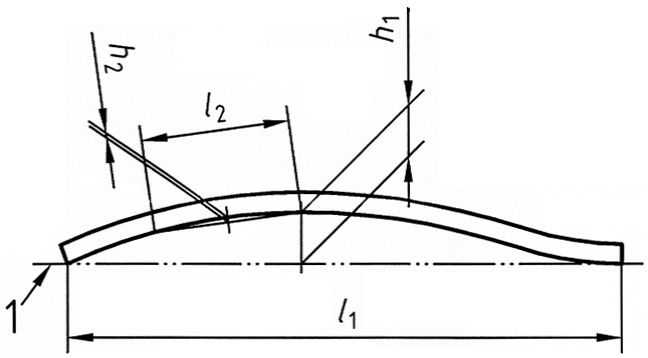
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความตรงของเส้นและแท่งให้เป็นไปตามตารางที่ 11 (ดูข้อ 6.7.1)

ตารางที่ 11 ความตรงของเส้นและแท่ง

(ข้อ 6.7.3)

เส้นผ่านศูนย์กลางระบุ, ความกว้างที่วัดระหว่างด้านคู่ขนานระบุ, ความหนาหรือความกว้างระบุ	ค่าสุงสุดของความเบี่ยงเบนไปจากความตรง		
	h_2 ในทุกๆ ความยาว l_2	h_1 ในความยาวทั้งหมด l_1	
	400 mm	ตั้งแต่ 1 m จนถึง 4 m	มากกว่า 4 m
≥ 10 mm	0.8 mm	2.0 mm × l_1	ตามข้อตกลง

ค่าเบี่ยงเบนจากความตรง h_1 และ h_2 ให้วัดตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 5



1 ระนาบอ้างอิง

h_1, h_2 ค่าเบี่ยงเบนจากความตรง

l_1, l_2 ความยาวที่วัด

รูปที่ 5 การวัดความตรง

(ข้อ 6.7.3)

6.7.4 ความแบนราบของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความแบนราบของแท่งให้เป็นไปตามตารางที่ 12 (ดูข้อ 6.7.1)

ตารางที่ 12 ความแบนราบของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

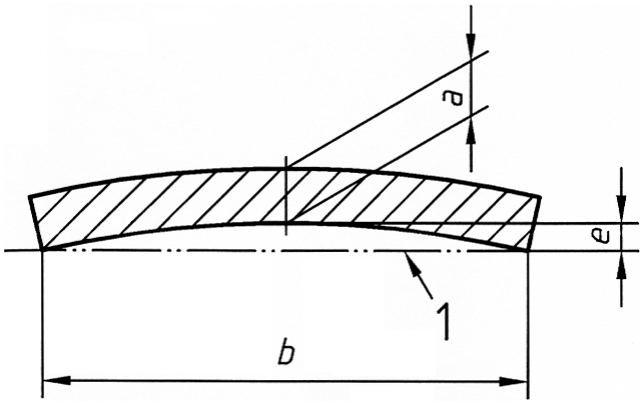
(ข้อ 6.7.4)

ความกว้างระบุ[ก] mm		ค่าสูงสุดของความเบี่ยงเบนไปจากความแบนราบ *e* ของแต่ละความหนาระบุ mm	
มากกว่า	จนถึง	ตั้งแต่ 1 จนถึง 6	มากกว่า 6 จนถึง 40
10[ข]	30	0.2	0.15
30	50	0.3	0.2
50	80	0.4	0.25
80	120	0.5	0.3
120	200	-	0.5

[ก] หากอัตราส่วนของความกว้างระบุ ต่อ ความหนาระบุ มากกว่า 15 ต่อ 1 เกณฑ์ความเบี่ยงเบนไปจากความแบนราบให้เป็นไปตามข้อตกลงร่วมระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

[ข] รวมขนาด 10 mm ด้วย

ความเบี่ยงเบนจากความแบนราบ *e* ของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ความหนา *a* ความกว้าง *b*) ให้วัดตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 6



1 ระนาบอ้างอิง

a ความหนา

b ความกว้าง

e ค่าเบี่ยงเบนจากความแบนราบ

รูปที่ 6 การวัดความแบนราบ

(ข้อ 6.7.4)

6.8 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมวล

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมวลในการส่งมอบให้เป็นไปตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมวล

(ข้อ 6.8)

มวลระบุในการส่งมอบ kg		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
มากกว่า	จนถึง	
50[ก]	100	± 15 kg
100	1 000	± 10 %
1 000	-	± 5 %
[ก] รวมมวล 50 kg ด้วย		

6.9 สภาพผิว

ผลิตภัณฑ์ต้องสะอาด และปราศจากข้อบกพร่อง โดยต้องระบุอยู่ในข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย หากมิได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่นผลิตภัณฑ์แบบขึ้นรูปเย็นอาจมีฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นตกค้างอยู่บนผิวได้ การเปลี่ยนสีอาจเกิดขึ้นได้แต่ต้องไม่ทำให้สมบัติการใช้งานเสียไป

หากมีความต้องการสภาพผิวพิเศษ เช่น จุดต่อ การเคลือบผิว ขึ้นอยู่กับข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย (ดูภาคผนวก ซ. ข้อ ฐ))

7. การชักตัวอย่าง

7.1 ทั่วไป

ในกรณีที่ต้องการให้มีการชักตัวอย่าง จำนวนชุดของการชักตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อ 7.2 และข้อ 7.3

7.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบ

อัตราการชักตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบให้เป็นไปตามตารางที่ 14 ต้องเตรียมตัวอย่างทดสอบจากแต่ละตัวอย่างที่ชักมาเพื่อนำไปหาองค์ประกอบตามวิธีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้

หมายเหตุ 1 ในการเตรียมตัวอย่างต้องหลีกเลี่ยงการทำให้ตัวอย่างทดสอบปนเปื้อนหรือร้อนเกิน แนะนำให้ใช้เครื่องมือที่ส่วนปลายเป็นคาร์ไบด์ ถ้าใช้เครื่องมือเหล็กควรทำด้วยวัสดุแม่เหล็กเพื่อช่วยในการแยกเหล็กปนเปื้อนออก ถ้า

ตัวอย่างทดสอบอยู่ในรูปที่เป็นขนาดเล็กละเอียด (เช่น เศษจากการเจาะหรือกลึง) ควรใช้แม่เหล็กกำลังแรงเพื่อแยกเศษเหล็กที่เข้าไปปนเปื้อนในระหว่างการเตรียม

หมายเหตุ 2 อาจใช้ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนเบื้องต้นของกระบวนการผลิต เช่น ขั้นตอนการหล่อ มาใช้อ้างอิงได้ ถ้าองค์ประกอบของทองแดงไม่เปลี่ยนและผู้ผลิตได้รับการรับรองระบบบริหารคุณภาพตาม มอก.9001 หรือเทียบเท่า

7.3 การทดสอบทางกลและทางไฟฟ้า

อัตราการชักตัวอย่างให้เป็นไปตามตารางที่ 14 โดยชักตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป แล้วนำมาตัดโดยไม่มีการปรับแต่งสภาพ ยกเว้นการกลึงในกรณีที่จำเป็น

ตารางที่ 14 อัตราการชักตัวอย่าง

(ข้อ 7.2 และข้อ 7.3)

เส้นผ่านศูนย์กลางระบุ หรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานระบุ mm		ขนาดของรุ่นการทดสอบสำหรับหนึ่งตัวอย่างทดสอบ kg
มากกว่า	จนถึง	ไม่เกิน
2.0[ก]	3.0	250
3.0	10.0	500
10.0	25.0	1 000
25.0	50.0	1 500
50.0	-	2 000
[ก] รวมขนาด 2.0 mm ด้วย		

8. การทดสอบ

8.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ

การวิเคราะห์ต้องกระทำกับชิ้นทดสอบ หรือส่วนของชิ้นทดสอบที่เตรียมมาจากตัวอย่างทดสอบตามข้อ 7.2 ยกเว้นในกรณีมีข้อโต้แย้ง วิธีการวิเคราะห์ต้องได้รับการยินยอมจากผู้ขาย และได้รับการตกลงร่วมกันระหว่างผู้ที่โต้แย้ง

8.2 การทดสอบการดึง

การทดสอบการดึงให้ปฏิบัติตาม ภาคผนวก ข.[t4] โดยเตรียมชิ้นทดสอบจากตัวอย่างทดสอบตามข้อ 7.3 ชิ้นทดสอบอาจเป็นภาคตัดขวางเต็มของผลิตภัณฑ์ หรือเตรียมผิวด้วยเครื่องจักร

8.3 การทดสอบความแข็ง

ทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากตัวอย่างทดสอบตามข้อ 7.3 การทดสอบให้ปฏิบัติตามภาคผนวก ค. หรือ ภาคผนวก ง.

- การทดสอบความแข็งวิกเกอร์สตาม ภาคผนวก ค.[t5] โดยใช้แรง 98.07 นิวตัน
- การทดสอบความแข็งบริเนลล์ตาม ภาคผนวก ง.[t6] โดยใช้อัตราส่วน 0.102 F/D^2 เท่ากับ 10, หัวบอลขนาด 2.5 มิลลิเมตร และแรง 612.9 นิวตัน

8.4 การทดสอบการดัดโค้ง

การทดสอบการดัดโค้งให้เป็นไปตามภาคผนวก จ.[t7]

ลักษณะของการทดสอบการดัดโค้งมี 2 ลักษณะ ได้แก่

- การดัดโค้ง 90 องศา
- การดัดโค้ง 180 องศา โดยให้ผิวปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบแนบติดกันหรือมีระยะห่างขนานกัน

8.5 การทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้า

การทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าให้เป็นไปตามภาคผนวก ฉ.

ถ้าไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าสามารถวัดที่อุณหภูมิ (20 ± 1) องศาเซลเซียส หรือวัดที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับแก้ค่ามาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

8.6 ความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจน

การทดสอบความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจนให้เป็นไปตามภาคผนวก ช.[t8]

ชิ้นทดสอบต้องมีขนาดที่เหมาะสม แต่ชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมผิวด้วยเครื่องจักรต้องเหลือผิวเดิมบางส่วนที่ด้านนอกของการดัดโค้ง ขอบชิ้นทดสอบต้องมนและเรียบ

หลังจากให้ความร้อนชิ้นทดสอบในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนตามภาคผนวก ช. ต้องนำชิ้นทดสอบไปดัดโค้งโดยให้ปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบแนบติดกันตามวิธีที่ระบุในภาคผนวก จ.

8.7 การทดสอบซ้ำ

หากผลการทดสอบในข้อ 8.1 ถึงข้อ 8.6 มีข้อหนึ่งข้อใดไม่ผ่าน ต้องนำตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่าง จากรุ่นการทดสอบเดิมมาทดสอบคุณลักษณะที่ไม่ผ่านซ้ำ โดยหนึ่งในตัวอย่างทดสอบต้องนำมาจากตัวอย่างที่ชักมาเดิมที่ผลการทดสอบไม่ผ่าน เว้นแต่ไม่สามารถหาได้

ถ้าชิ้นทดสอบจากตัวอย่างทดสอบทั้งสองผ่านเกณฑ์การทดสอบ ให้ถือว่ารุ่นทดสอบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ถ้าชิ้นทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ ให้ถือว่ารุ่นทดสอบนั้นไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

9. เครื่องหมาย การบรรจุ และฉลาก

หากมิได้ระบุโดยผู้ซื้อและตกลงกันเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย เครื่องหมาย การบรรจุ และฉลากให้เป็นตามหลักเกณฑ์ของผู้ขาย (ดูภาคผนวก ซ. ข้อ ฌ))

ภาคผนวก ก.

(ข้อแนะนำ)

ลักษณะเฉพาะของทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า

(ข้อ 4.1.2.1 ข้อ 4.1.2.2 และข้อ 6.1)

ก.1 การจัดกลุ่มทั่วไปของทองแดงชนิดต่างๆ

ลักษณะเฉพาะของทองแดงขึ้นอยู่กับสารเจือปนที่มีอยู่ โดยเฉพาะออกซิเจน ฟอสฟอรัส และเงิน

ทองแดงแบ่งเป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

- ทองแดงชนิดทัฟพิตช์ (มีออกซิเจน)
- ทองแดงชนิดปราศจากออกซิเจน
- ทองแดงชนิดดีออกซิไดซ์
- ทองแดงเจือเงิน

ก.2 ลักษณะเฉพาะทั่วไป

โดยทั่วไปทองแดงสามารถขึ้นรูปได้และใช้บัดกรีได้ดีมาก ส่วนความนำไฟฟ้าและความสามารถในการเชื่อมได้ ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และชนิดของทองแดง

ก.3 ลักษณะเฉพาะ

ตารางที่ ก.1 แสดงลักษณะเฉพาะของทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า โดยการระบุชื่อวัสดุด้วยสัญลักษณ์และหมายเลขของทองแดงแต่ละชนิด

หมายเหตุ มาตรฐานนี้ไม่ได้ระบุทองแดงทุกชนิดไว้ในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ลักษณะเฉพาะของทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้า

(ข้อ ก.3)

ชนิดของทองแดง	ลักษณะเฉพาะ	การระบุชื่อวัสดุ	
		สัญลักษณ์	หมายเลข
ทองแดงชนิดทัฟพิตช์ (มีออกซิเจน)	ทองแดงชนิดนี้ผลิตขึ้นโดยการควบคุมปริมาณออกซิเจน และมีความนำไฟฟ้าสูง ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเมื่อให้ความร้อน เชื่อม หรือเชื่อมประสานทองแดงชนิดนี้ในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนเพื่อหลีกเลี่ยงความเปราะเนื่องจากไฮโดรเจน	Cu-ETP1 Cu-ETP Cu-FRHC	CW003A CW004A CW005A
ทองแดงชนิดปราศจากออกซิเจน	ทองแดงชนิดนี้ผลิตขึ้นในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนและไม่ใช้สารดีออกซิไดเซอร์ และมีความนำไฟฟ้าสูง ควรระมัดระวังเมื่อให้ความร้อน เชื่อม หรือเชื่อมประสานทองแดงชนิดนี้ในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนเพื่อหลีกเลี่ยงความเปราะเนื่องจากไฮโดรเจน	Cu-OF1 Cu-OF Cu-OFE	CW007A CW008A CW009A
ทองแดงชนิดดีออกซิไดซ์	ทองแดงชนิดนี้ผลิตขึ้นโดยการเติมสารดีออกซิไดเซอร์โดยทั่วไปใช้ฟอสฟอรัส ในปริมาณที่ควบคุมให้เหลือสารดีออกซิไดเซอร์ตกค้างในปริมาณน้อย และมีความนำไฟฟ้าสูง ควรระมัดระวังเมื่อให้ความร้อน เชื่อม หรือเชื่อมประสานทองแดงชนิดนี้ในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนเพื่อหลีกเลี่ยงความเปราะเนื่องจากไฮโดรเจน	Cu-PHC Cu-HCP Cu-PHCE	CW020A CW021A CW022A
ทองแดงเจือเงิน	ทองแดงชนิดทัฟพิตช์ ทองแดงชนิดปราศจากออกซิเจน และทองแดงชนิดดีออกซิไดซ์สามารถเติมธาตุเงินได้จนถึงร้อยละ 0.12 (โดยมวล) ผลของการเติมธาตุเงินเพื่อเพิ่มสมบัติความต้านทานการอ่อนตัว โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพนำไฟฟ้า	CuAg0.04 CuAg0.07 CuAg0.10 CuAg0.04P CuAg0.07P CuAg0.10P CuAg0.04(OF) CuAg0.07(OF) CuAg0.10(OF)	CW011A CW012A CW013A CW014A CW015A CW016A CW017A CW018A CW019A

ภาคผนวก ข.

การทดสอบการดึง

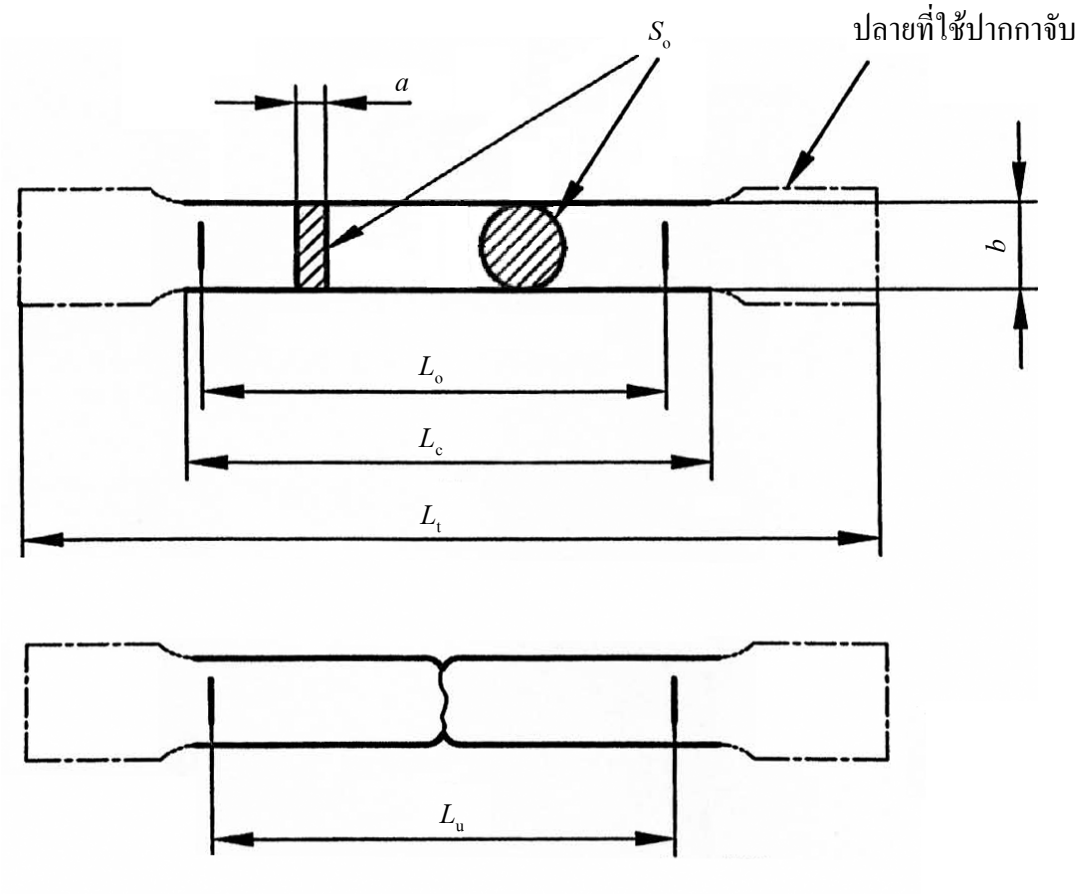
(ข้อ 8.2)

ข.1 หลักการ

เป็นการดึงชิ้นทดสอบด้วยแรงดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด เพื่อตรวจสอบสมบัติทางกลตามข้อ ข.2

ข.2 สัญลักษณ์และความหมาย

ดูรูปที่ ข.1 และตารางที่ ข.1



รูปที่ ข.1 ชิ้นทดสอบ

(ข้อ ข.2)

ตารางที่ ข.1 สัญลักษณ์และการระบุ

(ข้อ ข.2)

สัญลักษณ์	การระบุ	หน่วย
a	ความหนาของชิ้นทดสอบ	mm
b	ความกว้างของความยาวส่วนขนานของชิ้นทดสอบ หรือความกว้างเฉลี่ย	mm
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนขนานของชิ้นทดสอบที่มีภาคตัดขวางเป็นรูปวงกลม	mm
L_o	ความยาวพิกัดเดิม	mm
L_c	ความยาวส่วนขนาน	mm
L_t	ความยาวรวมของชิ้นทดสอบ	mm
L_u	ความยาวพิกัดสุดท้าย	mm
S_o	พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวพิกัด	mm^2
k	ตัวประกอบความสัมพันธ์	-
A	ร้อยละของการยืดในความยาวพิกัด	%
A_{100mm}	ร้อยละของการยืดในความยาวพิกัด ที่ความยาวพิกัดเท่ากับ 100 มิลลิเมตร	%
R_m	ความต้านแรงดึง	N/mm^2
R_p	ความต้านแรงดึงพิสูจน์ สำหรับการยืดที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน (proof strength, non-proportional extension)	N/mm^2

ข.3 ชิ้นทดสอบ

ข.3.1 ทั่วไป

รูปร่างและขนาดของชิ้นทดสอบขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทดสอบ โดยทั่วไปชิ้นทดสอบมักจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเตรียมรูปทรงด้วยเครื่องจักร อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ (เช่น เป็นรูปแท่ง หรือเส้น) อาจทดสอบโดยไม่ต้องผ่านการเตรียมรูปทรงด้วยเครื่องจักร

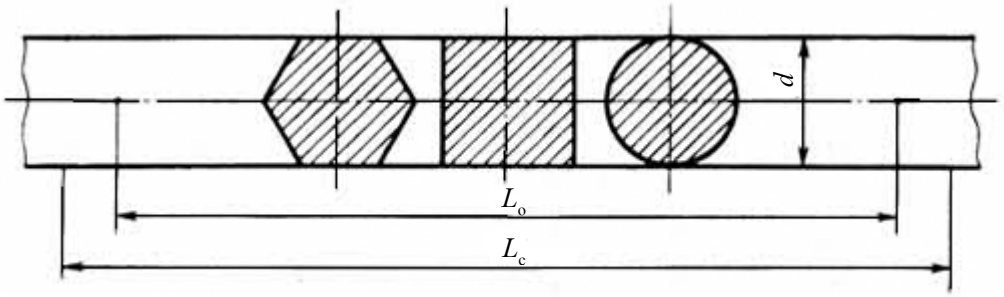
ชิ้นทดสอบที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวพิกัดเดิมกับพื้นที่ภาคตัดขวางเดิมตามสมการ $L_o = k\sqrt{S_o}$ เรียกว่าชิ้นทดสอบที่เป็นสัดส่วนกัน (proportional test piece) ให้ใช้ค่า $k = 5.65$ ทั้งนี้ความยาวพิกัดเดิมที่

คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ในกรณีที่ได้ความยาวพิกัดเดิมน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่า k = 11.3 หรืออาจใช้ชิ้นทดสอบที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน (non-proportional test piece)

ในกรณีของชิ้นทดสอบที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน ให้เลือกความยาวพิกัดเดิมได้ตามต้องการ โดยไม่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวางเดิม

ข.3.2 ชิ้นทดสอบจากเส้นกลม เส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และเส้นหกเหลี่ยม

ข.3.2.1 ในกรณีขนาดของผลิตภัณฑ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ให้เตรียมชิ้นทดสอบที่ตัดจากผลิตภัณฑ์นั้นได้เลย ตามรูปที่ ข.2 โดยมีมิติที่เหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์ตามตารางที่ ข.2



รูปที่ ข.2 ชิ้นทดสอบข้อ ข.3.2.1

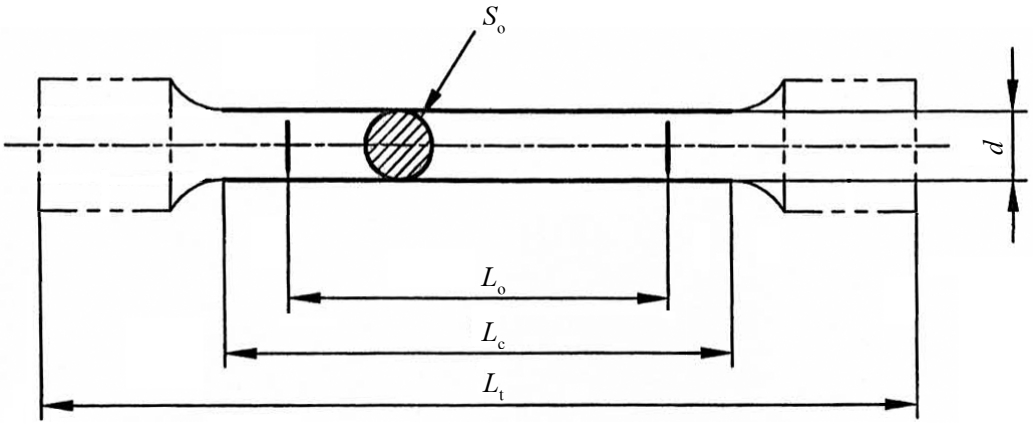
(ข้อ ข.3.2.1)

ตารางที่ ข.2 มิติของชิ้นทดสอบข้อ ข.3.2.1

(ข้อ ข.3.2.1)

ความยาวพิกัด (L_o) mm	ระยะห่างจากปลายของส่วนขนานถึงปากกาจับ (L_c) ต่ำสุด mm
100	150
200	250

ข.3.2.2 ในกรณีขนาดของผลิตภัณฑ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนานมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ให้เตรียมชิ้นทดสอบตามรูปที่ ข.3 โดยมีมิติที่เหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์และความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ ข.3



รูปที่ ข.3 ชิ้นทดสอบข้อ ข.3.2.2

(ข้อ ข.3.2.2 และข้อ ข.3.3.2)

ตารางที่ ข.3 มิติของชิ้นทดสอบข้อ ข.3.2.2

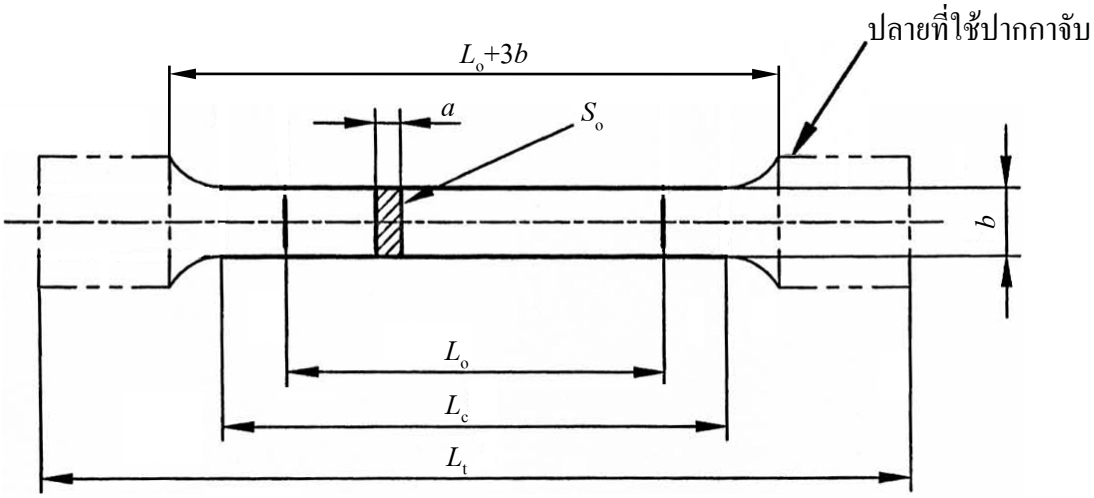
(ข้อ ข.3.2.2 และข้อ ข.3.3.2)

k	เส้นผ่านศูนย์กลาง d mm	พื้นที่ภาคตัดขวางเดิม S_o mm^2	ความยาวพิกัดเดิม $L_o = k\sqrt{S_o}$ mm	ความยาวส่วนขนานต่ำสุด L_c mm	ความยาวรวม L_t mm	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง[n] mm
5.65	5 ± 0.040	19.6	25 ± 0.25	28	ขึ้นอยู่กับวิธีจับชิ้นทดสอบ โดยหลักการ $L_t > L_c + 2d$ หรือ $4d$	0.03
	10 ± 0.075	78.5	50 ± 0.5	55		0.04
	20 ± 0.150	314	100 ± 1.0	110		0.05

[n] ค่าเบี่ยงเบนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดกับเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดซึ่งวัดภายในความยาวส่วนขนานต้องไม่เกินเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง

ข.3.3 ชิ้นทดสอบจากแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ข.3.3.1 แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนา (a) น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบควรมีการเตรียมรูปทรงด้วยเครื่องจักรให้เป็นไปตามรูปที่ ข.4 โดยมีมิติที่เหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์และความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ ข.4



รูปที่ ข.4 ชิ้นทดสอบข้อ ข.3.3.1

(ข้อ ข.3.3.1 และข้อ ข.3.3.2)

ตารางที่ ข.4 มิติของชิ้นทดสอบข้อ ข.3.3.1

(ข้อ ข.3.3.1)

ความกว้าง b mm	ความยาวพิกัดเดิม L_o mm	ความยาวส่วนขนานต่ำสุด L_c mm	ระยะห่างระหว่างปากกาจับสำหรับชิ้นทดสอบด้านขนาน L_o+3b mm	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง[ก] mm
12.5 ± 0.09	50	75	87.5	0.043
20 ± 0.105	80	120	140	0.052

[ก] ค่าเบี่ยงเบนระหว่างความกว้างสูงสุดกับความกว้างต่ำสุดซึ่งวัดภายในความยาวส่วนขนานต้องไม่เกินเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง

ข.3.3.2 แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนา (a) ตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป ชิ้นทดสอบควรมีการเตรียมรูปทรงด้วยเครื่องจักรให้เป็นไปตามรูปที่ ข.3 โดยมีมิติที่เหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์และความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ ข.3 หรือรูปที่ ข.4 โดยมีมิติที่เหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์และความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 มิติของชิ้นทดสอบ

(ข้อ ข.3.3.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความกว้าง b mm	ความยาวพิกัดเดิม L_o mm	ความยาวส่วนขนานต่ำสุด L_c mm	ความยาวรวม L_t mm	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง[ก] mm
20	80	90	300	0.33
25	200	225	450	0.33
40	200	225	450	0.39

[ก] ค่าเบี่ยงเบนระหว่างความกว้างสูงสุดกับความกว้างต่ำสุดซึ่งวัดภายในความยาวส่วนขนานต้องไม่เกินเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของรูปร่าง

ข.4 วิธีทดสอบ

ข.4.1 หากมิได้ตกลงกันไว้เป็นอย่างอื่น ให้ทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส

ข.4.2 ทำเครื่องหมายความยาวพิกัดบนชิ้นทดสอบด้วยวิธีที่เหมาะสม แต่ต้องไม่มีผลกระทบกับผลการทดสอบ

ข.4.3 ใช้ที่จับของเครื่องทดสอบจับชิ้นทดสอบด้วยวิธีที่เหมาะสมตามลักษณะของชิ้นทดสอบ และต้องจับให้อยู่ในลักษณะที่แรงดึงกระทำตามแนวแกนให้มากที่สุด เท่าที่จะมากได้

ข.4.4 ใส่แรงดึงโดยให้หัวจับชิ้นทดสอบของเครื่องทดสอบแยกออกจากกัน ในอัตราไม่เกินร้อยละ 50 ของความยาวทดสอบ (test length) ต่อนาที จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด ถ้าตำแหน่งที่ชิ้นทดสอบขาดไม่อยู่ภายในความยาวพิกัด ให้ทดสอบด้วยชิ้นทดสอบใหม่

ข.4.5 ความต้านแรงดึง (R_m) คำนวณได้จากค่าแรงดึงสูงสุด หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ

ข.4.6 การยืด หาได้โดย นำปลายที่ขาดทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบต่อชนกัน ในแนวเส้นตรง วัดหาส่วนยืดของชิ้นทดสอบ บันทึกผลการยืดเป็นร้อยละต่อความยาวพิกัด ถ้าได้ค่าการยืดไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ถือว่าการทดสอบสมบูรณ์ไม่ว่าขาดจากตำแหน่งใด แต่ถ้าค่าการยืดน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ จะถือว่าการทดสอบเสร็จสิ้นได้ ก็ต่อเมื่อการขาดเกิดขึ้นระหว่างเครื่องหมายพิกัด

ร้อยละของการยืดในความยาวพิกัด (A) เป็นร้อยละของผลต่างของความยาวสุดท้ายกับความยาวพิกัดเดิม

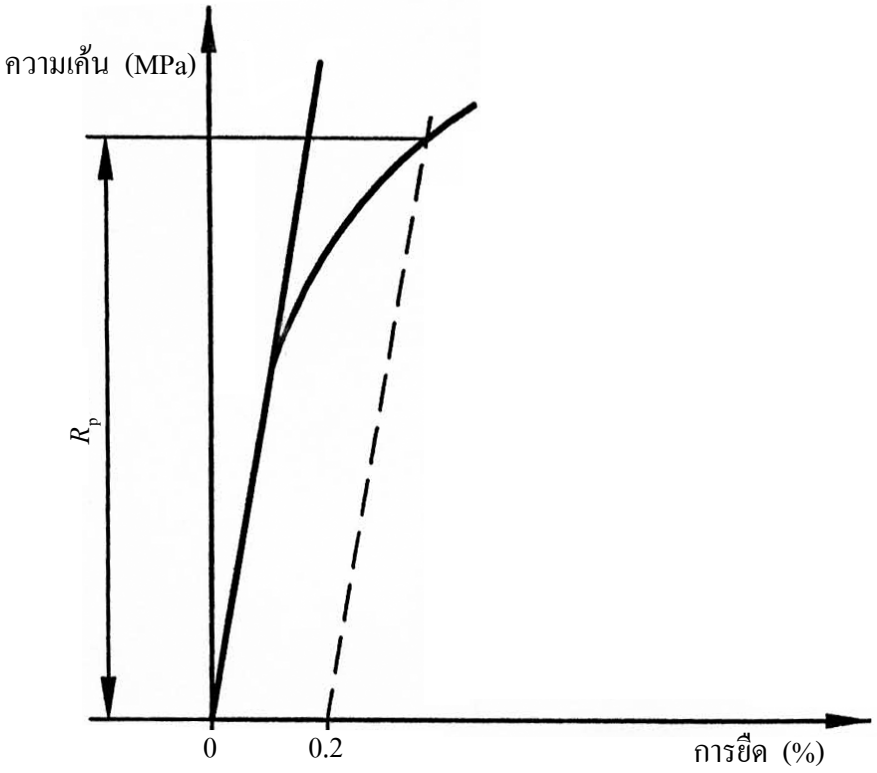
$$A = \frac{(L_u - L_o)}{L_o} \times 100\ \%$$

ในกรณีของชิ้นทดสอบที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน A_{100mm} หมายถึงร้อยละของการยืดในความยาวพิกัดที่ความยาวพิกัดเท่ากับ 100 มิลลิเมตร

ข.4.7 ความต้านแรงดึงพิสูจน์สำหรับการยืดที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน (R_p) หาได้จากแผนภาพของความเค้นกับการยืด โดยลากเส้นขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ ให้มีระยะห่างเท่ากับค่าการยืดที่ไม่เป็นสัดส่วนกันที่ต้องการ เช่น ที่ระยะร้อยละ 0.2 จุดที่เส้นที่ขนานนี้ตัดเส้นแสดงความสัมพันธ์เป็นค่าของแรงที่จะนำไปคำนวณหาความต้านแรงดึงพิสูจน์ที่ต้องการ (ดูรูปที่ ข.5)

(1) การหาแผนภาพของแรงกับการยืด จำเป็นจะต้องทำให้ละเอียดถูกต้อง เส้นแสดงความสัมพันธ์อาจหาได้โดยวิธีธรรมดา หรือใช้เครื่องอัตโนมัติ

(2) ค่าการยืดที่ต้องการ เพื่อใช้หาความต้านแรงดึงพิสูจน์จะต้องระบุไว้ในเกณฑ์กำหนด



รูปที่ ข.5 ความต้านแรงดึงพิสูจน์สำหรับชิ้นทดสอบที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน
(ข้อ ข.4.7)

ภาคผนวก ค.
การทดสอบความแข็งวิกเกอร์สสำหรับทองแดง

(ข้อ 8.3)

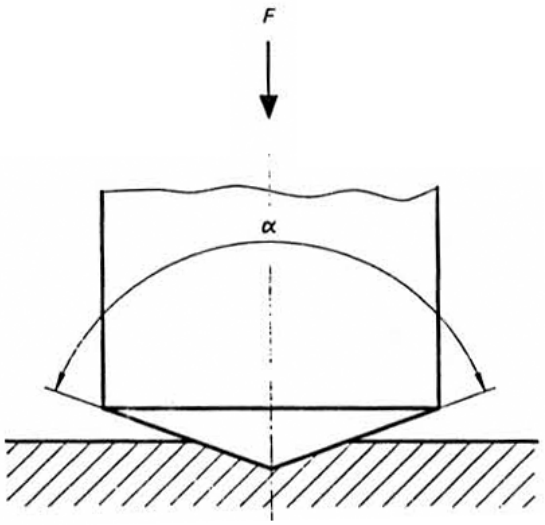
ค.1 หลักการ

กดหัวกด (ทำด้วยเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมที่ยอดแหลมระหว่างหน้าตรงข้ามของหัวกดมีค่า (136 ± 0.5) องศา) ลงบนผิวหน้าของชิ้นทดสอบ หลังจากที่นำแรงกด F ออก ก็จะปรากฏรอยกดบนผิวชิ้นทดสอบ ซึ่งรอยกดดังกล่าวจะถูกตรวจสอบเส้นทแยงมุม

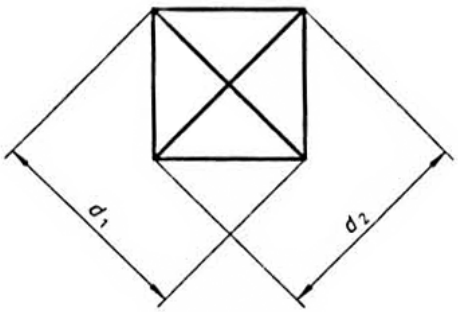
ค่าความแข็งวิกเกอร์ส เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าแรงกดกับพื้นที่เอียงของรอยกด

ค.2 สัญลักษณ์และความหมาย

ดูรูปที่ ค.1 และตารางที่ ค.1



ก) หัวกด (ทำด้วยเพชรรูปพีระมิด)



ข) รอยกดวิกเกอร์ส

รูปที่ ค.1 หลักการทดสอบ

(ข้อ ค.2)

ตารางที่ ค.1 สัญลักษณ์และการระบุ

(ข้อ ค.2)

สัญลักษณ์	การระบุ
α	มุมที่ยอดแหลมระหว่างหน้าตรงข้ามของหัวกด (136°± 0.5°)
F	แรงทดสอบ เป็นนิวตัน
d	ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมสองเส้นคือ d_1 และ d_2 เป็นมิลลิเมตร (ดูรูปที่ ค.1)
HV	ความแข็งวิกเกอร์ส = ค่าคงที่ $\times$ $\frac{\text{แรงทดสอบ}}{\text{พื้นที่ผิวรอยกด}}$ $= 0.102 \frac{2F \sin\frac{136°}{2}}{d^2} \approx 0.1891\frac{F}{d^2}$
หมายเหตุ ค่าคงที่ = $1/g_n = 1/9.80665 \approx 0.102$ เมื่อ g_n = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	

การระบุความแข็งวิกเกอร์สให้เขียนดังนี้

ระบุค่าความแข็งและต่อด้วยสัญลักษณ์ความแข็ง HV 10 ซึ่งหมายถึงการทดสอบโดยใช้แรงกด 98.07 นิวตัน ตามด้วยระยะเวลากดที่ใช้ หากไม่ระบุระยะเวลาให้ใช้ระยะเวลา 10 วินาทีถึง 15 วินาที

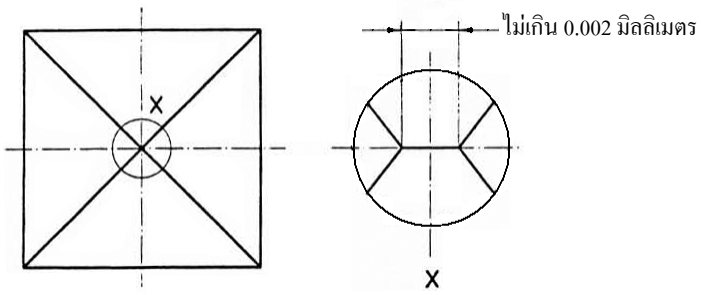
ตัวอย่างที่ ค.1 85 HV 10 หมายถึง มีความแข็งวิกเกอร์สเท่ากับ 85 ใช้แรงทดสอบเท่ากับ 98.07 นิวตัน เป็นเวลา 10-15 วินาที

ตัวอย่างที่ ค.2 85 HV 10/20 หมายถึง มีความแข็งวิกเกอร์สเท่ากับ 85 ใช้แรงทดสอบเท่ากับ 98.07 นิวตัน เป็นเวลา 20 วินาที

ค.3 เครื่องทดสอบ

ค.3.1 เครื่องทดสอบต้องสามารถทดสอบแรงกดที่ 98.07 นิวตัน ± ร้อยละ 1.5

ค.3.2 หัวกดทำด้วยเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมที่ยอดแหลมระหว่างหน้าตรงข้ามของหัวกดมีค่า 136 ± 0.5 องศา หน้าเอียงทั้งสี่ของหัวกด ต้องเอียงทำมุมกับแกนของหัวกดเท่าๆ กัน (คลาดเคลื่อนได้ ± 0.25 องศา) และพบกันที่ยอดของหัวกด ฉะนั้น เส้นที่ต่อยอดของหน้าเอียงที่อยู่ตรงกันข้ามควรยาวไม่เกิน 0.002 มิลลิเมตร ลักษณะของยอดแหลมโดยทั่วไป เมื่อตรวจด้วยกล้องขยายจะเห็นได้ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 เส้นที่ต่อยอดของหน้าเอียง

(ข้อ ค.3.2)

ค.3.3 ผิวหัวกดต้องขัดมันเรียบ และไม่มีรอยร้าวหรือตำหนิ (defect) ใดๆ

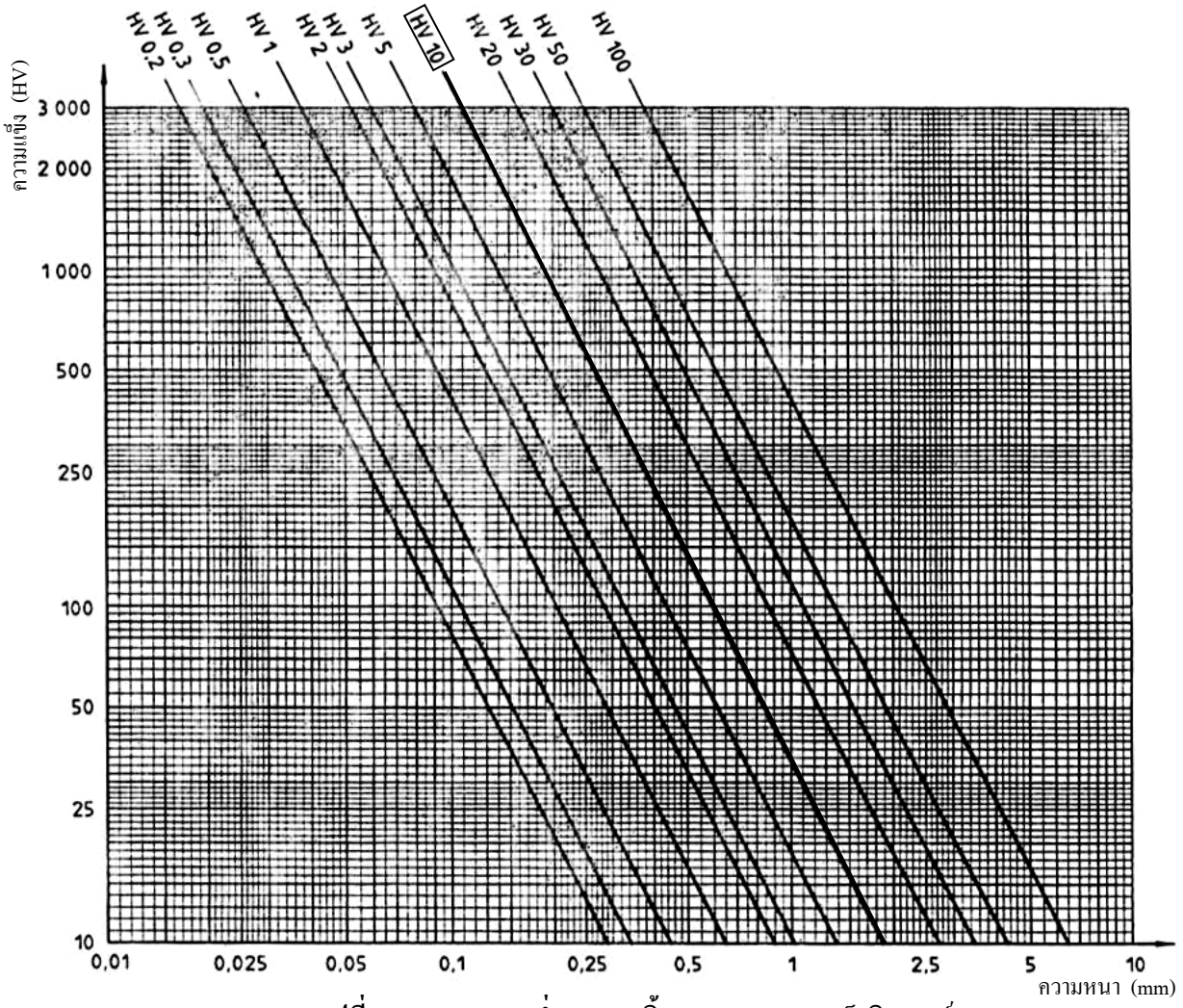
ค.3.4 เครื่องมือที่ใช้วัดขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกดต้องสามารถวัดได้ละเอียดถึงร้อยละ ± 1.0 ของขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกด

ค.4 วิธีทดสอบ

ค.4.1 ให้ทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส เว้นแต่ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น

ค.4.2 ผิวของชิ้นทดสอบต้องเรียบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าเส้นทแยงมุมของรอยกดที่แน่นอน ผิวของชิ้นทดสอบต้องไม่มีตะกรันออกไซด์ (oxide scale) หรือสิ่งแปลกปลอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปราศจากน้ำมันหล่อลื่น การเตรียมผิวของชิ้นทดสอบต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก ควรหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน (hot working) หรือกรรมวิธีเย็น (cold working)

ค.4.3 ความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบเป็นไปตามรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 ความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส

(ข้อ ค.4.3)

ค.4.4 แท่นรองรับชิ้นทดสอบต้องแข็งแรงและมั่นคง เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในระหว่างการทดสอบ ผิวที่สัมผัสจะต้องสะอาดไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น สะเก็ด น้ำมัน ฝุ่น

ค.4.5 วางหัวกดบนผิวของชิ้นทดสอบ เริ่มออกแรงกดในแนวตั้งฉากกับผิวของชิ้นทดสอบ และเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ โดยให้ถึงแรงกดพิกัดภายในเวลา 2 ถึง 8 วินาที และคงแรงกดนั้นไว้เป็นเวลา 10 ถึง 15 วินาที ในระหว่างการทดสอบต้องป้องกันไม่ให้เกิดการกระแทกหรือการสั่นที่มีผลกระทบเป็นนัยสำคัญต่อค่าที่วัดได้

ค.4.6 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกดกับขอบของชิ้นทดสอบ ไม่ควรน้อยกว่า 2.5 เท่าของเส้นทแยงมุมของรอยกด และระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกด 2 จุดไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของเส้นทแยงมุมของรอยกด

ค.4.7 การวัดเส้นทแยงมุมของรอยกด ควรวัด 2 ครั้ง ในทิศทางที่ตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณหาความแข็งวิกเกอร์ส

สำหรับผิวราบ (flat surface) ในกรณีที่ความแตกต่างระหว่างเส้นทแยงมุมของรอยกด 2 รอย มากกว่าร้อยละ 5 ต้องระบุไว้ในรายงานการทดสอบ

ค.4.8 ในกรณีที่ทดสอบกับผิวโค้งของทรงกระบอก

(1) ถ้าอัตราส่วน *d/D* น้อยกว่า 0.009 ให้ใช้ค่าความแข็งที่ได้เป็นค่าความแข็งวิกเกอร์ส

(2) ถ้าอัตราส่วน *d/D* มากกว่าหรือเท่ากับ 0.009 ให้นำค่าที่ได้ไปคูณกับตัวประกอบแก้ค่าตามตารางที่ ค.2 ถึงตารางที่ ค.3

หมายเหตุ *d* คือ เส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด และ *D* คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกที่เป็นชิ้นทดสอบ

ตารางที่ ค.2 กรณีเส้นทแยงมุมของรอยกดทำมุม 45 องศากับแนวแกนตามยาวของทรงกระบอก

(ข้อ ค.4.8)

d/D	ตัวประกอบแก้ค่า	*d/D*	ตัวประกอบแก้ค่า
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 ค.3 กรณีเส้นทแยงมุมของรอยกดเส้นใดเส้นหนึ่งขนานกับแนวแกนตามยาวของทรงกระบอก

(ข้อ ค.4.8)

d/D	ตัวประกอบแก้ค่า	*d/D*	ตัวประกอบแก้ค่า
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

ตัวอย่างที่ ค.3 เส้นทแยงมุมของรอยกดเส้นใดเส้นหนึ่งขนานกับแนวแกนตามยาวของทรงกระบอก

เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก $D = 5$ มิลลิเมตร

แรงทดสอบ $F = 98.07$ นิวตัน

เส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด $d = 0.425$ มิลลิเมตร

$d/D = 0.425/5 = 0.085$

ความแข็งวิกเกอร์ส $\approx 0.1891\frac{F}{d^2} = 0.1891 \times 98.07/(0.425)^2$ = 103 HV 10

ตัวประกอบแก้ค่าตามตารางที่ ค.3 = 0.965

ความแข็งของทรงกระบอก = 103 × 0.965 = 99 HV 10

ภาคผนวก ง.
การทดสอบความแข็งบริเนลล์สำหรับทองแดง

(ข้อ 8.3)

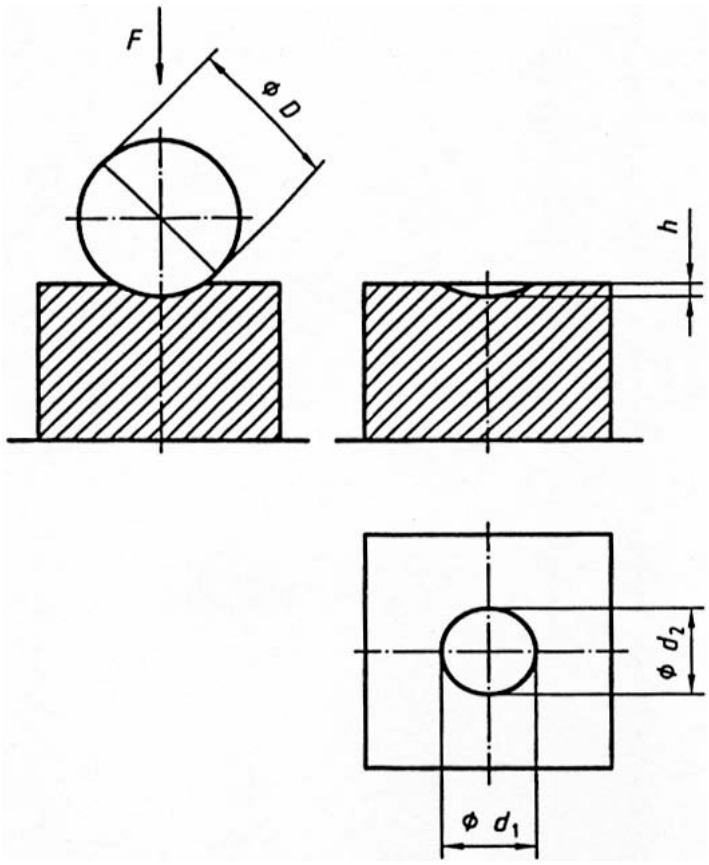
ง.1 หลักการ

กดหัวกด (ลูกบอลโลหะแข็ง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D) ลงบนผิวหน้าของชิ้นทดสอบ หลังจากที่นำแรงกด F ออก ก็จะปรากฏรอยกดบนผิวชิ้นทดสอบ ซึ่งรอยกดดังกล่าวจะถูกตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง

ค่าความแข็งบริเนลล์ เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าแรงกดกับพื้นที่ผิวของรอยกด

ง.2 สัญลักษณ์และความหมาย

ดูรูปที่ ง.1 และตารางที่ ง.1



รูปที่ ง.1 หลักการทดสอบ

(ข้อ ง.2)

ตารางที่ ง.1 สัญลักษณ์และการระบุ

(ข้อ ง.2)

สัญลักษณ์	การระบุ	หน่วย
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล	mm
F	แรงทดสอบ	N
d	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรอยกด $\left(d = \frac{d_1 + d_2}{2}\right)$	mm
d_1, d_2	เส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดวัดที่ 90°	mm
h	ความลึกของรอยกด $= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$	mm
HBW	ความแข็งบริเนลล์ $=$ ค่าคงที่ $\times \frac{\text{แรงทดสอบ}}{\text{พื้นที่ผิวรอยกด}}$ $= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$	
$0.102 \times F/D^2$	อัตราส่วนของแรงกับเส้นผ่านศูนย์กลาง	N/mm^2
หมายเหตุ ค่าคงที่ $= 1/g_n = 1/9.80665 \approx 0.102$ เมื่อ g_n = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก		

การระบุความแข็งบริเนลล์ให้เขียนดังนี้

ระบุค่าความแข็งและต่อด้วยสัญลักษณ์ความแข็ง HBW 2.5 ซึ่งหมายถึงการทดสอบโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล 2.5 มิลลิเมตร แรงกด 612.9 นิวตัน (62.5 กิโลกรัมแรง) ตามด้วยระยะเวลากดที่ใช้ หากไม่ระบุระยะเวลาให้ใช้ระยะเวลา 10 ถึง 15 วินาที

ตัวอย่างที่ ง.1 85 HBW 2.5/62.5 หมายถึง มีความแข็งบริเนลล์เท่ากับ 85 โดยทดสอบด้วยลูกบอลเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร และใช้แรงทดสอบเท่ากับ 612.9 นิวตัน เป็นเวลา 10 ถึง15 วินาที

ตัวอย่างที่ ง.2 85 HBW 2.5/62.5/20 หมายถึง มีความแข็งบริเนลล์เท่ากับ 85 โดยทดสอบด้วยลูกบอลเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร และใช้แรงทดสอบเท่ากับ 612.9 นิวตัน เป็นเวลา 20 วินาที

หมายเหตุ ความแข็งบริเนลล์ เดิมจะใช้สัญลักษณ์ HB หรือ HBS ในกรณีที่ใช้หัวกดลูกบอลที่ทำจากเหล็ก

ง.3 เครื่องทดสอบ

ง.3.1 เครื่องทดสอบต้องสามารถทดสอบแรงกดที่ 612.9 นิวตัน ± ร้อยละ 1.0

ง.3.2 หัวกดเป็นลูกบอลทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ ที่มีผิวที่มันวาวโดยควรจะมีองค์ประกอบดังนี้

- ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ร้อยละ 91 ถึงร้อยละ 93
- คาร์ไบด์ชนิดอื่นรวมกัน ร้อยละ 2
- โคบอลต์ ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 7

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (2.5 ± 0.003) มิลลิเมตร ความแข็งไม่น้อยกว่า 1 500 HV 10 และมีความหนาแน่น (14.8 ± 0.2) กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

หมายเหตุ HV คือความแข็งวิกเกอร์ส

ง.3.3 เครื่องมือที่ใช้วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดต้องสามารถวัดได้ละเอียดถึงร้อยละ ± 0.5 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด

ง.4 วิธีทดสอบ

ง.4.1 ให้ทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส เว้นแต่ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น

ง.4.2 ผิวของชิ้นทดสอบต้องเรียบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่แน่นอน ผิวของชิ้นทดสอบต้องไม่มีตะกรันออกไซด์ หรือสิ่งแปลกปลอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปราศจากน้ำมันหล่อลื่น การเตรียมผิวของชิ้นทดสอบต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก ควรหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อนหรือกรรมวิธีเย็น

ง.4.3 ความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบเป็นไปตามตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 ความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบความแข็งบริเนลล์

(ข้อ ง.4.3)

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรอยกด d mm	ความหนาต่ำสุดของชิ้นทดสอบ (เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล D = 2.5) mm
0.6	0.29
0.7	0.40
0.8	0.53
0.9	0.67
1.0	0.83
1.1	1.02
1.2	1.23
1.3	1.46
1.4	1.72
1.5	2.00

ง.4.4 แท่นรองรับชิ้นทดสอบต้องแข็งแรงและมั่นคง เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในระหว่างการทดสอบ ผิวที่สัมผัสจะต้องสะอาดไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น สะเก็ด น้ำมัน ฝุ่น

ง.4.5 วางลูกบอลบนผิวของชิ้นทดสอบ เริ่มออกแรงกดในแนวตั้งฉากกับผิวของชิ้นทดสอบ และเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ โดยให้ถึงแรงกดพิกัดภายในเวลา 2 วินาที ถึง 8 วินาที และคงแรงกดนั้นไว้เป็นเวลา 10 วินาที ถึง 15 วินาที ในระหว่างการทดสอบต้องป้องกันไม่ให้เกิดการกระแทกหรือการสั่นที่มีผลกระทบเป็นนัยสำคัญต่อค่าที่วัดได้

ง.4.6 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกดกับขอบของชิ้นทดสอบ ไม่ควรน้อยกว่า 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด และระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกด 2 จุดไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด

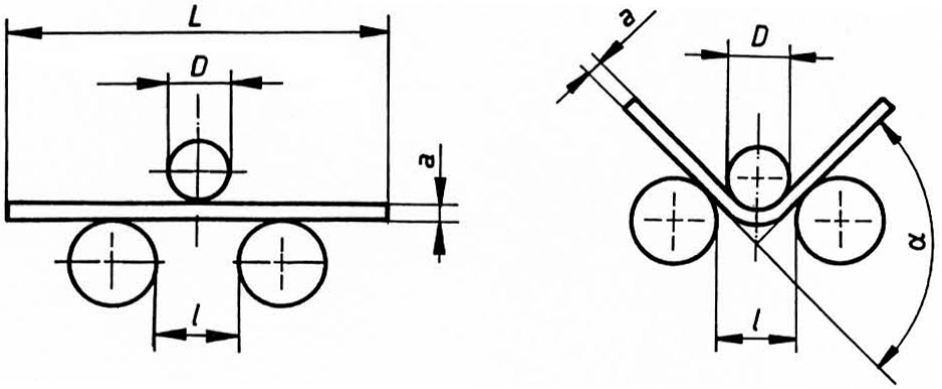
ง.4.7 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด ควรวัด 2 ครั้ง ในทิศทางที่ตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณหาความแข็งบริเนลล์

ภาคผนวก จ.
การทดสอบการดัดโค้ง

(ข้อ 8.4 และข้อ 8.6)

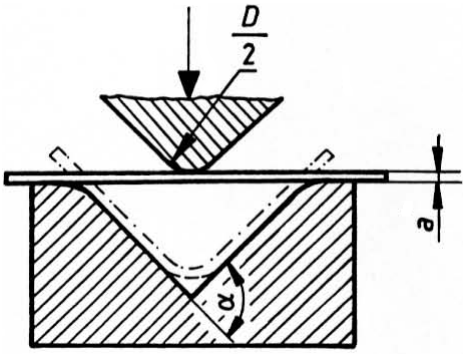
จ.1 หลักการ

ให้ทดสอบโดยใช้แรงกดบนชิ้นทดสอบที่ตรงและตัน ซึ่งมีภาคตัดขวางเป็นรูปเหลี่ยมหรือกลม ทำให้เกิดความโค้งถาวร โดยไม่ดัดกลับในระหว่างการทดสอบ จนกระทั่งปลายข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบทำมุมดัดโค้ง α ตามที่กำหนดกับปลายอีกข้างหนึ่งภายใต้แรงกระทำ (ดูรูปที่ จ.1) และแนวแกนของปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบยังคงอยู่ในระนาบตั้งฉากกับแกนของการดัดโค้ง ในกรณีของการดัดโค้ง 180 องศา อาจจะดัดพับผิวปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบแนบติดกัน (ดูรูปที่ จ.6) หรือมีระยะห่างขนานกันตามที่กำหนด ระยะห่างนี้จะควบคุมโดยใช้ชิ้นวัสดุคั่นกลางก็ได้ (ดูรูปที่ จ.5)



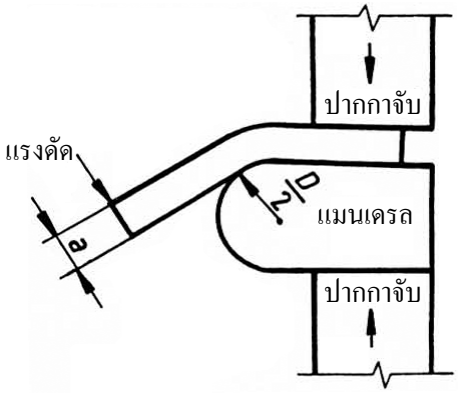
รูปที่ จ.1 เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบลูกกลิ้งรองรับและหัวกด

(ข้อ จ.1 ข้อ จ.2 ข้อ จ.3.1 และข้อ จ.5.2)



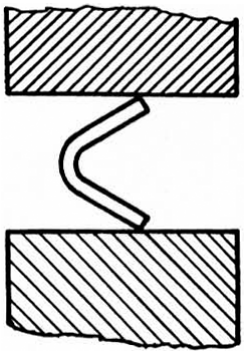
รูปที่ จ.2 เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบแท่นรองรับรูปตัว V

(ข้อ จ.2 ข้อ จ.3.2 และข้อ จ.5.3)



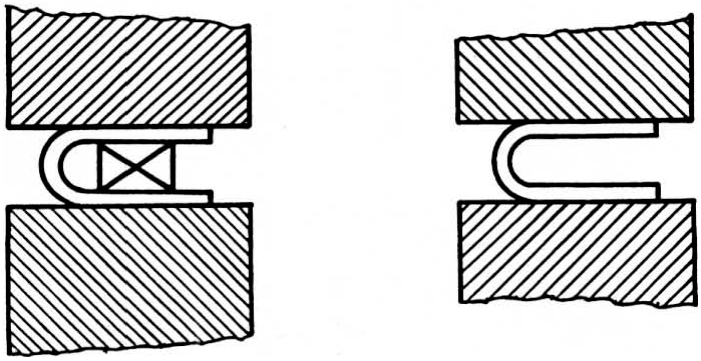
รูปที่ จ.3 เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบปากกาจับ

(ข้อ จ.3.3)



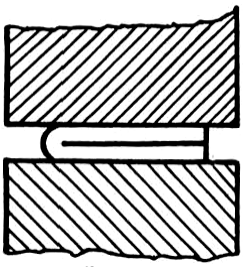
รูปที่ จ.4 การกดโดยตรงที่ปลายทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบ

(ข้อ จ.5.5 และข้อ จ.5.6)



รูปที่ จ.5 การดัดโค้งจนปลายทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบขนานกัน

(ข้อ จ.5.6)



รูปที่ จ.6 การดัดโค้งจนปลายทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบแนบติดกัน

จ.2 สัญลักษณ์และความหมาย

ดูรูปที่ จ.1 และรูปที่ จ.2 และตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 สัญลักษณ์และการระบุ

(ข้อ จ.2)

สัญลักษณ์	การระบุ	หน่วย
a	ความหนาหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ	mm
b	ความกว้างของชิ้นทดสอบ	mm
L	ความยาวของชิ้นทดสอบ	mm
l	ระยะห่างระหว่างที่รองรับ	mm
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของเมนเดรล	mm
α	มุมของการดัดโค้ง	องศา
r	รัศมีภายในของส่วนโค้งของชิ้นทดสอบหลังการดัดโค้ง	mm

จ.3 เครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบการดัดโค้งมี 3 แบบ ดังต่อไปนี้

จ.3.1 เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบลูกกลิ้งรองรับและหัวกด (ดูรูปที่ จ.1)

ความกว้างของลูกกลิ้งรองรับและหัวกด โดยทั่วไปต้องกว้างกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

ระยะห่างของลูกกลิ้งรองรับ (*l*) หากมิได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้

$$l = (D+3a) \pm a/2$$

และต้องไม่มีการเปลี่ยนระยะห่างในระหว่างการทดสอบ

จ.3.2 เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบแท่นรองรับรูปตัว V (ดูรูปที่ จ.2)

ด้านเอียงของแท่นรองรับรูปตัว V ต้องทำมุมเท่ากับ (180 - α) องศา ขอบของแท่นรองรับรูปตัว V ต้องมีรัศมีระหว่าง 1 เท่าถึง 10 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ และมีความแข็งเพียงพอ

จ.3.3 เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบปากกาจับ (clamp) หรือเครื่องมือจับที่เหมาะสม (ดูรูปที่ จ.3)

เครื่องทดสอบประกอบด้วยปากกาจับหรือเครื่องมือจับที่เหมาะสมและหัวกดที่มีความแข็งเพียงพอ และอาจมีคานงัดสำหรับป้อนแรงกดชิ้นทดสอบ

จ.4 ชิ้นทดสอบ

จ.4.1 ชิ้นทดสอบที่มีภาคตัดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

จ.4.1.1 ชิ้นทดสอบภาคตัดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ขอบของชิ้นทดสอบปกติต้องแต่งให้มนโดยมีรัศมีไม่เกินหนึ่งในสิบของความหนา หากชิ้นทดสอบที่ไม่ได้แต่งขอบถ้าผลการทดสอบผ่านเกณฑ์กำหนด ก็ถือว่าการทดสอบนั้นยอมรับได้

จ.4.1.2 เว้นแต่ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น โดยทั่วไปความกว้างของชิ้นทดสอบให้เป็นดังนี้

(1) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความกว้างไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ให้ใช้ชิ้นทดสอบความกว้างเท่ากับผลิตภัณฑ์

(2) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความกว้างมากกว่า 20 มิลลิเมตร และมีความหนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นทดสอบเท่ากับ 20 มิลลิเมตร จะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร

(3) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความกว้างมากกว่า 20 มิลลิเมตร และมีความหนาตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป ความกว้างของชิ้นทดสอบอยู่ระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

จ.4.1.3 เว้นแต่ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น โดยทั่วไปความหนาของชิ้นทดสอบให้เป็นดังนี้

(1) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาไม่เกิน 25 มิลลิเมตร ความหนาของชิ้นทดสอบเท่ากับความหนาของผลิตภัณฑ์

(2) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนามากกว่า 25 มิลลิเมตร อาจตกแต่งด้านใดด้านหนึ่งออกด้วยเครื่องมือกล เพื่อให้ได้ความหนา 25 มิลลิเมตร ในการดัดโค้งผิวที่ไม่ผ่านการตกแต่งต้องอยู่ด้านที่รับแรงดึง (tension-side surface)

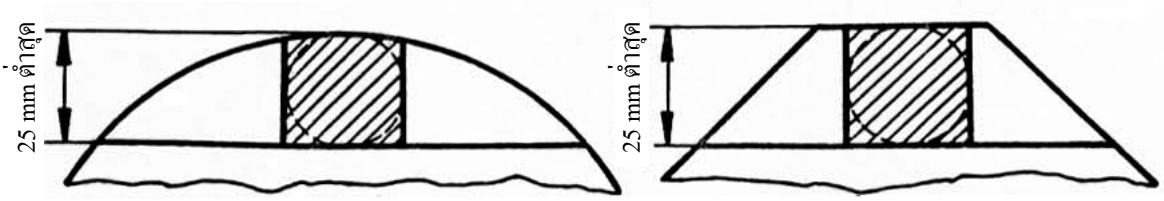
จ.4.2 ชิ้นทดสอบที่มีภาคตัดรูปกลมหรือหกเหลี่ยม

จ.4.2.1 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 30 มิลลิเมตร ทดสอบจากชิ้นทดสอบที่ตัดจากผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้เลย

จ.4.2.2 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เพื่อความสะดวกอาจลดขนาดลงได้ แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิเมตร ในการดัดโค้งผิวที่ไม่ผ่านการตกแต่งต้องอยู่ด้านที่รับแรงดึง (ดูรูปที่ จ.7)

จ.4.2.3 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มิลลิเมตร ต้องลดขนาดลงให้ไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิเมตร ในการดัดโค้งผิวที่ไม่ผ่านการตกแต่งต้องอยู่ด้านที่รับแรงดึง (ดูรูปที่ จ.7)

หมายเหตุ สำหรับชิ้นทดสอบที่มีภาคตัดรูปหกเหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลางหมายถึงความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน



รูปที่ จ.7 ชิ้นทดสอบที่มีภาคตัดรูปกลมหรือหกเหลี่ยม

(ข้อ จ.4.2.2 และข้อ จ.4.2.3)

จ.5 วิธีทดสอบ

จ.5.1 ให้ทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส เว้นแต่ตกลงไว้เป็นอย่างอื่น

จ.5.2 ในกรณีใช้เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบลูกกลิ้งรองรับและหัวกด ให้วางชิ้นทดสอบบนลูกกลิ้งรองรับ ซึ่งขนานกัน 2 ตัว แล้วกดชิ้นทดสอบตรงกลางอย่างช้าๆ ด้วยหัวกด จุดประสงค์เพื่อให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรโดยอิสระ (ดูรูปที่ จ.1)

จ.5.3 ในกรณีใช้เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบแท่นรองรับรูปตัว V ให้วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับรูปตัว V แล้วกดชิ้นทดสอบด้วยปลายหัวกดลงอย่างช้าๆ จุดประสงค์เพื่อให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรโดยอิสระ (ดูรูปที่ จ.2)

จ.5.4 ในกรณีใช้เครื่องทดสอบการดัดโค้งแบบปากกาจับหรือเครื่องจับที่เหมาะสม การดัดต้องใช้แรงกระทำตั้งฉากกับผิวของชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ แนวของแรงดัดต้องอยู่ที่ระยะห่างไม่เกิน 2 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบจากจุดสัมผัสสุดท้ายของชิ้นทดสอบบนหัวดัด

จ.5.5 ถ้าไม่สามารถดัดโค้งชิ้นทดสอบให้ได้มุมที่กำหนดตามวิธีข้างต้น ก็ให้ดัดต่อโดยการกดโดยตรงที่ปลายทั้ง 2 ข้างของชิ้นทดสอบ (ดูรูปที่ จ.4)

จ.5.6 ในกรณีที่ต้องการดัดโค้งชิ้นทดสอบ ให้ปลายทั้ง 2 ข้างของชิ้นทดสอบขนานกัน นอกจากจะกระทำได้ตามวิธีดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีอีกวิธีหนึ่งซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

(1) วางชิ้นทดสอบโดยให้ลูกกลิ้งหรือแท่นรองรับรูปตัว V รองรับส่วนปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบ การดัดโค้งเริ่มด้วยการกดชิ้นทดสอบด้วยแรงสม่ำเสมอ

(2) นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการดัดโค้งขั้นแรกวางในเครื่องอัด (ดูรูปที่ จ.4) และอัดจนกระทั่งรัศมีความโค้งภายในของชิ้นทดสอบ และมุมระหว่างปลายทั้งสองเป็นไปตามที่กำหนด (ดูรูปที่ จ.5)

จ.6 เกณฑ์การยอมรับ

หลังจากทดสอบการดัดโค้ง ผิวด้านข้างและด้านนอกของชิ้นทดสอบต้องไม่มีรอยแตกราน ที่มองเห็นได้ด้วยตา โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ช่วยขยาย (magnifying aids)

ภาคผนวก ฉ.
การทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้า

(ข้อ 8.5)

ฉ.1 หลักการ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบประจำ (routine test) สำหรับตัวอย่างที่มีความต้านทานไม่น้อยกว่า 10 ไมโครโอห์ม

ฉ.2 เครื่องมือทดสอบ

เครื่องวัดความต้านทาน ต้องใช้วิธีสี่จุดต่อกับชิ้นทดสอบที่มีความต้านทานไม่เกิน 1 โอห์ม ถ้าชิ้นทดสอบมีความต้านทานมากกว่า 1 โอห์ม อาจใช้วิธีสองจุดต่อได้

ฉ.3 ชิ้นทดสอบ

เมื่อต้องการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุตัวนำ ชิ้นทดสอบต้องอยู่ในลักษณะเส้นตรงที่มีภาคตัดขวางสม่ำเสมอ

หมายเหตุ 1 ความสม่ำเสมอของพื้นที่ภาคตัดขวาง พิจารณาจากการวัดอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง โดยมีระยะห่างเท่ากันภายในความยาวพิกัด และได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 2

ชิ้นทดสอบต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้

(1) ไม่มีรอยร้าวบนผิวหรือการชำรุดอื่นๆ ที่มองเห็นได้

(2) ปราศจากสะเก็ดผิว สิ่งสกปรก และไขมัน

(3) ไม่มีรอยต่อหรือรอยประสาน

(4) มีความยาวอย่างน้อย 30 เซนติเมตร ถ้ามีมิติอื่นๆ ต้องเหมาะสมกับเครื่องมือวัด

(5) มีความต้านทานระหว่างจุดสัมผัสศักย์ (potential contact) ไม่น้อยกว่า 10 ไมโครโอห์ม

หมายเหตุ 2 ในการตัดชิ้นทดสอบ ต้องระมัดระวังในการเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อไม่ให้วัสดุเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด พึงระลึกว่าการดัดให้ตรงทำให้วัสดุแข็งขึ้น การให้ความร้อนมีแนวโน้มที่จะอบอ่อนวัสดุซึ่งมีผลให้สภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง

ฉ.4 วิธีทดสอบ

ฉ.4.1 การวัดความต้านทาน

การวัดความต้านทานต้องมีความไม่แน่นอนทั้งหมดของเครื่องมือวัดไม่เกินร้อยละ ± 0.30 การวัดความยาวพิกัดระหว่างจุดสัมผัสศักย์ต้องมีความไม่แน่นอนไม่เกินร้อยละ ± 0.10 ชิ้นทดสอบและชิ้นมาตรฐานอ้างอิงต้องเก็บไว้ในห้องปฏิบัติการอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ อุณหภูมิทดสอบต้องอยู่ระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส การวัดอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการต้องมีความไม่แน่นอนน้อยกว่า 0.4 องศาเซลเซียส เพื่อลดความผิดพลาดเนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อน (thermal e.m.f.) ต้องวัด 2 ครั้งติดต่อกันโดยเร็ว โดยให้ทิศทางของกระแสตรงข้ามกันและนำค่าทั้งสองมาเฉลี่ย

ฉ.4.2 พื้นที่ภาคตัดขวาง

การหาพื้นที่ภาคตัดขวางต้องทำที่อุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส โดยมีความไม่แน่นอนไม่เกินร้อยละ ± 0.50

ฉ.5 การปรับค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ

การวัดความต้านทานต้องทำที่อุณหภูมิระหว่าง 10 องศาเซลเซียส ถึง 35 องศาเซลเซียส ค่าที่วัดได้ให้ปรับไปเป็นค่าที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 องศาเซลเซียส ตามสูตร

$$R_{20} = \frac{R_t}{(1+\alpha_{20}(t-20))}$$

เมื่อ R_{20} คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

R_t คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

α_{20} คือ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเท่ากับ 0.00381 ต่อองศาเซลเซียส สำหรับทองแดง

t คือ อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ เป็นองศาเซลเซียส

หรือใช้สูตร

$$R_{20} = C_f \cdot R_t$$

เมื่อ C_f คือ ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ (temperature correction factor) ในตารางที่ ฉ.1

ตารางที่ ฉ.1 ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ

(ข้อ ฉ.5.1)

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ
10.0	1.039 6	18.5	1.005 7	27.0	0.974 0
10.5	1.037 6	19.0	1.003 8	27.5	0.972 2
11.0	1.035 5	19.5	1.001 9	28.0	0.970 4
11.5	1.033 5	20.0	1.000 0	28.5	0.968 6
12.0	1.031 4	20.5	0.998 1	29.0	0.966 8
12.5	1.029 4	21.0	0.996 2	29.5	0.965 1
13.0	1.027 4	21.5	0.994 3	30.0	0.963 3
13.5	1.025 4	22.0	0.992 4	30.5	0.961 5
14.0	1.023 4	22.5	0.990 6	31.0	0.959 8
14.5	1.021 4	23.0	0.988 7	31.5	0.958 0
15.0	1.019 4	23.5	0.986 8	32.0	0.956 3
15.5	1.017 4	24.0	0.985 0	32.5	0.954 5
16.0	1.015 5	24.5	0.983 1	33.0	0.952 8
16.5	1.013 5	25.0	0.981 3	33.5	0.951 1
17.0	1.011 6	25.5	0.979 5	34.0	0.949 4
17.5	1.009 6	26.0	0.977 7	34.5	0.947 6
18.0	1.007 7	26.5	0.975 8	35.0	0.945 9

ฉ.6 วิธีคำนวณสภาพต้านทานไฟฟ้า

ฉ.6.1 สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร คำนวณได้จากสูตร

$$\rho = \left(\frac{A}{L}\right) \cdot R$$

เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร เป็นโอห์มตารางมิลลิเมตรต่อเมตร

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวาง เป็นตารางมิลลิเมตร

L คือ ความยาว เป็นเมตร

R คือ ความต้านทาน เป็นโอห์ม

ฉ.6.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงมวล คำนวณได้จากสูตร

$$\delta = \frac{mR}{L^2}$$

เมื่อ δ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงมวล เป็นโอห์มกรัมต่อตารางเมตร

m คือ มวล เป็นกรัม

L คือ ความยาว เป็นเมตร

R คือ ความต้านทาน เป็นโอห์ม

ภาคผนวก ช.
การทดสอบความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจน

(ข้อ 8.6)

ช.1 หลักการ

เป็นการเตรียมชิ้นทดสอบและให้ความร้อนในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจน หากมีออกซิเจนอยู่ในเนื้อชิ้นงาน จะเกิดปฏิกิริยาซึ่งทำให้เกิดความเปราะ การเย็นตัวของชิ้นงานจะต้องไม่สัมผัสกับอากาศ

ช.2 ชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบต้องมีความยาวเหมาะสม สำหรับชิ้นทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน และความหนาไม่เกิน 12 มิลลิเมตร จะทดสอบกับชิ้นทดสอบซึ่งมีภาคตัดขวางเต็ม สำหรับทองแดงเส้น หรือแท่งที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ต้องเตรียมชิ้นทดสอบโดยการนำตัวอย่างทดสอบไปกลึง ไส ขัด หรือถูให้เหลือผิวเดิมอยู่ 1 ด้าน ให้มีขนาดเหมาะสมกับตู้อบบรรยากาศของไฮโดรเจนที่จะใช้ทดสอบ โดยให้แกนตามยาวของชิ้นทดสอบขนานกับแกนเดิมของตัวอย่างทดสอบ

ช.3 วิธีทดสอบ

นำชิ้นทดสอบทิ้งไว้ในตู้อบที่บรรยากาศภายในมีไฮโดรเจนบรรจุอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิระหว่าง 825 องศาเซลเซียส ถึง 875 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในตู้อบหรือนำไปแช่น้ำ แล้วจึงนำไปดัดโค้งจนกระทั่งผิวของชิ้นทดสอบแนบติดกันตามภาคผนวก จ. โดยต้องให้ผิวเดิมของตัวอย่างทดสอบอยู่ด้านนอกของการดัด ตรวจดูผิวรอบๆ ของชิ้นทดสอบด้วยตา

ช.4 เกณฑ์การยอมรับ

หลังจากทดสอบความไม่เปราะเนื่องจากไฮโดรเจน ผิวของชิ้นทดสอบต้องไม่มีรอยแตกราน ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ภาคผนวก ซ.

(ข้อแนะนำ)

ข้อมูลการสั่งซื้อ

(ข้อ 5. ข้อ 6.6.2.1 ข้อ 6.9 และข้อ 9.)

เพื่อความชัดเจนในการสั่งซื้อและการยืนยันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย ผู้ซื้อควรระบุข้อมูลดังต่อไปนี้ในใบสอบราคาและคำสั่งซื้อ

ก) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (มวล หรือจำนวนเส้น)

ข) ประเภท (เส้น หรือแท่ง)

ค) หมายเลขมาตรฐาน

ง) การระบุชื่อวัสดุ (ดูตารางที่ 1)

จ) การระบุชื่อสภาพวัสดุ (ดูข้อ 4.2 และตารางที่ 2)

ฉ) รูปภาคตัดขวาง (วงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หกเหลี่ยมด้านเท่า หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า)

ช) ขนาดระบุ (เส้นผ่านศูนย์กลาง ความกว้างวัดระหว่างด้านคู่ขนาน หรือ ความหนา × ความกว้าง) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ซ) ประเภทของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน สำหรับเส้นกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือหกเหลี่ยมด้านเท่า (ดูตารางที่ 4)

- ประเภท A (ความคลาดเคลื่อนด้านลบเท่านั้น) หรือ
- ประเภท B (ความคลาดเคลื่อนทั้งด้านบวกและด้านลบ)

ฌ) แบบของมุมหรือขอบ (ดูข้อ 6.6.2)

ญ) ความยาวที่ต้องการ (ดูข้อ 6.6.3)

หมายเหตุ สำหรับข้อมูลตั้งแต่ข้อ ข) ถึงข้อ ฌ) แนะนำให้ใช้การระบุชื่อผลิตภัณฑ์ตามที่ระบุไว้ในข้อ 4.3

นอกจากนั้นผู้ซื้ออาจระบุข้อมูลดังต่อไปนี้ในใบสอบราคาหรือคำสั่งซื้อได้ถ้าต้องการ

ฎ) วิธีการทดสอบที่ใช้ในการวัดความแข็งเป็นแบบบริเนลล์หรือแบบวิกเกอร์ส (ดูข้อ 8.3)

ฏ) ตัดปลายด้วยวิธีเลื่อยหรือวิธีเฉือน (ดูข้อ 6.6.3)

ฐ) สภาพผิวที่ต้องการ (ดูข้อ 6.9)

ฑ) การทดสอบการดัดโค้ง (ดูข้อ 6.3)

ฒ) การชักตัวอย่าง (ดูข้อ 7.)

ณ) การทำเครื่องหมาย การบรรจุ หรือฉลากใดๆ เป็นพิเศษ (ดูข้อ 9.)

<u>ตัวอย่างที่ ซ.1</u> รายละเอียดการสั่งซื้อแท่งทองแดงสำหรับจุดประสงค์ทางไฟฟ้าที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จำนวน 250 แท่ง วัสดุเป็น CuAg0.10 หรือ CW013A สภาพวัสดุเป็น R280 สี่เหลี่ยมผืนผ้า หนา 15 มิลลิเมตร กว้าง 100 มิลลิเมตร ขอบครึ่งวงกลม ความยาว 4 500 มิลลิเมตร

250 แท่ง - Bar TIS 408 - CuAg0.10 - R280 - 15 × 100 - CE

- ความยาว 4 500 มิลลิเมตร

หรือ

250 แท่ง - Bar TIS 408 - CW013A - R280 - 15 × 100 - CE

- ความยาว 4 500 มิลลิเมตร