การศึกษาการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่

นายประสิทธิ์ แพงเพชร
นายสุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เงินงบประมาณ 2555

ผู้รับผิดชอบโครงการ : นายประสิทธิ์ แพงเพชร
: นายสุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์
ชื่อโครงการวิจัย : การศึกษาการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่

บทคัดย่อ

การวัดค่าความแข็งเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพวัสดุและชิ้นส่วนโลหะที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะชิ้นส่วนเหล็กกล้าที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจำเป็นต้องตรวจวัดค่าความแข็ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการผลิตการวัดค่าความแข็งมีหลายวิธีแต่ที่นิยมกันมาก คือ การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ เครื่องวัดความแข็งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนั้นจำเป็นต้องทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

การตรวจสอบถึงความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความแข็งอาจจำเป็นต้องตรวจสอบเป็นประจำทุกครั้ง โดยเฉพาะถ้าเป็นการผลิตชิ้นงานแบบจำนวนมาก วิธีการตรวจสอบเครื่องวัดความแข็งคือการสอบเทียบกับวัสดุอ้างอิงมาตรฐานทางความแข็ง วัสดุอ้างอิงทางความแข็งจึงนับว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการผลิตใช้ในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีราคาค่อนข้างสูง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะทำการศึกษาความเป็นไปได้การนำผลิตแท่งอ้างอิงทางความแข็งกลับมาใช้ใหม่ โดยจะต้องให้ได้มาตรฐานและคุณภาพที่ทัดเทียมกับแท่งสอบเทียบที่ผลิตจากต่างประเทศ และเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากลโดยใช้มาตรฐาน ISO 6508-3:2005 ในการอ้างอิง โดยเบื้องต้นจะเน้นเฉพาะแท่งอ้างอิงทางความแข็งมาตรฐาน ร็อคเวลล์ สเกลซี และช่วงความแข็งที่จะเริ่มทดลอง 20 , 30 , 40 , 50 และ 60 HRC

ผลการวิจัยสามารถควบคุมรูปร่างและส่วนขนาดความแข็งเฉลี่ยในแต่ละระดับความแข็งใกล้เคียงความแข็งเดิม และ มีค่าพิสัย (Range) อยู่ในมาตรฐานของแท่งอ้างอิงทางความแข็งหน่วยร็อคเวลล์สเกลซี ตามมาตรฐาน ISO 6508-3:2005 สรุปผลการวิจัยแท่งอ้างอิงทางความแข็งที่เลือกมาใช้ในการทดลองสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตามกระบวนการที่ได้ทำการวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สมนึก วัฒนศรียกุล เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณา สละเวลา ในการให้คำปรึกษา แนะนำ ขอขอบพระคุณทางสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลช่วยให้งานวิจัยนี้สามารถดำเนินงานไปได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือและสถานที่เพื่อทำการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามทั้งหมดไว้ ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครให้การสนับสนุนด้านทุนการวิจัยจนโครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานโครงการวิจัยฉบับนี้คงมีประโยชน์แก่ผู้สนใจทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษไทย	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 วิธีการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2. การศึกษาการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่ ตามมาตรฐาน ISO 6508-3:2005	3
2.1 การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดตามระยะเวลา	3
2.2 กรรมวิธีทำการสอบเทียบ	5
2.3 การกำหนดระยะเวลาทำการสอบเทียบเครื่องตรวจ เครื่องวัด เครื่องทดสอบ	7
2.4 ระดับมาตรฐานทางด้านความแข็ง	10
2.5 ลำดับของการสอบย้อน	10
2.6 ข้อกำหนดของแท่งมาตรฐานการวัดความแข็ง ร็อคเวลล์	13
2.7 วิธีการตรวจสอบเครื่องมือวัดความแข็ง Rockwell	14
2.8 การทดสอบค่าความแข็งทางกล	17
2.9 การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์	18
2.10 การทดสอบด้านโครงสร้างจุลภาค	20
2.11 การตัดเฉือนวัสดุ: วัสดุเครื่องมือตัด	20
2.12 ทฤษฎีเกี่ยวกับความหยาบผิว	23
บทที่ 3. วิธีการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	26
3.1 ขั้นตอนและการดำเนินงาน	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย	29
บทที่ 4. ผลการทดลอง	30
4.1 ผลการทดสอบรูปร่างแท่งอ้างอิงทางความแข็ง	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบวัดค่าความแข็ง	33
บทที่ 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก	
ผลการวัดค่ารูปทรงแท่งอ้างอิงมาตรฐาน	37
ภาคผนวก ข	
เอกสารรับรองมาตรฐาน	42
ประวัติผู้วิจัย	44

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	รูปร่างและส่วนขนาดของวัสดุอ้างอิงทางความแข็ง ร็อกเวลล์	13
2-2	แสดงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องทดสอบความแข็ง (Permissible Repeatability and Error of the Testing Machine)	16
2-3	แสดงระดับค่าความแข็งของแท่งมาตรฐานทดสอบความแข็ง (Rockwell) จากมาตรฐาน ISO6508-2: 1999(E) [3,4,5]	17
4-1	แสดงผลการวัดค่าความราบผิวแท่งอ้างอิงทางความแข็ง	30
4-2	ผลการวัดค่าความขนานแท่งอ้างอิงทางความแข็ง	31
4-3	ผลการวัดค่าความหยาบผิว (Ra)แท่งอ้างอิงทางความแข็ง	32
4-4	แสดงผลค่าความแข็งที่ได้จากกระบวนการวิจัย	33
5-1	แสดงผลค่าความแข็งเปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ	34
5-2	แสดงผลพิสัย(Range)ของค่าความแข็งที่ได้เปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ	35
ก 2-1	รูปร่างและส่วนขนาดของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ร็อกเวลล์	38
ก 2-2	แสดงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องทดสอบความแข็ง	38
ก 2-3	แสดงระดับค่าความแข็งของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง (Rockwell)	38
ก 4-1	แสดงผลการวัดค่าความราบผิวแท่งอ้างอิงทางความแข็ง	39
ก 4-2	ผลการวัดค่าความขนานแท่งอ้างอิงทางความแข็ง	39
ก 4-3	ผลการวัดค่าความหยาบผิว (Ra)แท่งอ้างอิงทางความแข็ง	40
ก 4-4	แสดงผลค่าความแข็งที่ได้จากกระบวนการวิจัย	40
ก 5-1	แสดงผลค่าความแข็งเปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ	41
ก 5-2	แสดงผลพิสัย(Range)ของค่าความแข็งที่ได้เปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ	41

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ขั้นตอนในการขอใช้บริการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด	4
2-2	แผนผังแสดงลำดับการวัดทางด้านความแข็ง ในปัจจุบัน	10
2-3	ระดับมาตรฐานแห่งชาติจะถูกสอบย้อนโดยใช้การวัดที่เป็นมูลฐานของมาตรฐาน	11
2-4	ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุและเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งโลหะ	18
2-5	ตัวอย่างการทดสอบ HRC	19
2-6	แสดงการวัดค่าความหยาบผิว Rt	25
2-7	แสดงการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)	25
3-1	แสดงวิธีการและลำดับขั้นตอนการวิจัย	27
3-2	วิธีการและลำดับขั้นตอนการวิจัย	33
3-3	แสดงตำแหน่งการวัดความราบผิวและความขนานชิ้นงานทดสอบ	28
3-4	แสดงตำแหน่งและทิศทางการวัดความหยาบผิว	28
ข-1	เอกสารรับรองการตรวจประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	43

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดความแข็งเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุและชิ้นส่วนโลหะ ที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขว้าง โดยเฉพาะชิ้นส่วนของเหล็กกล้าที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน จำเป็นต้องตรวจวัดความแข็งเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการผลิต การวัดความแข็งมีหลากหลายวิธี แต่ที่นิยมกันมากคือการวัดแบบ ร็อกเวลล์ เครื่องวัดความแข็งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนั้นจำเป็นต้องทำงานให้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำตลอดเวลา

การตรวจสอบถึงความแม่นยำของเครื่องวัดความแข็งอาจจำเป็นต้องตรวจสอบเป็นประจำทุกครั้ง โดยเฉพาะถ้าเป็นการผลิตชิ้นงานจำนวนมาก วิธีการตรวจสอบเครื่องวัดความแข็งที่นิยมและเป็นที่ยอมรับคือการสอบเทียบกับแท่งอ้างอิงทางความแข็ง แท่งอ้างอิงทางความแข็งจึงนับว่าเป็นอุปกรณ์ช่วยที่สำคัญ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการผลิตใช้ขึ้นเองในประเทศ จำเป็นที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง และยังมีข้อจำกัดจำนวนครั้งในการใช้งาน เนื่องจากในการสอบเทียบแต่และครั้งจะเกิดตำหนิบนแท่งอ้างอิงทางความแข็ง และเมื่อตำหนิเต็มผิวหน้าแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ก็ไม่สามารถใช้แท่งอ้างอิงทางความแข็งนั้นได้อีก จึงมีอัตราการใช้งานจำนวนมาก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะทำการศึกษาความเป็นไปได้การนำผลิตแท่งอ้างอิงทางความแข็งกลับมาใช้ใหม่ โดยจะต้องให้ได้มาตรฐานและคุณภาพที่ทัดเทียมกับแท่งสอบเทียบที่ผลิตจากต่างประเทศ และเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากลโดยใช้มาตรฐาน ISO 6508-3:2005 ในการอ้างอิง โดยเบื้องต้นจะเน้นเฉพาะแท่งอ้างอิงทางความแข็งมาตรฐาน ร็อคเวลล์ สเกลซี ช่วงความแข็งที่จะเริ่มทดลอง 20 , 30 , 40 , 50 และ 60 HRC

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่

1.2.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาการะบวนการ การนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่

1.3. วิธีการวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีกระบวนการทางความร้อนและทฤษฎีอื่นที่เกี่ยวข้องกับโลหะ

1.3.2 ออกแบบกระบวนการทางความร้อนตามเงื่อนไขการทดลอง

1.3.3 ทำการทดลองกระบวนการทางความร้อนตามเงื่อนไขที่วางไว้

1.3.4 นำแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ทดสอบความแข็งและตรวจวัดคุณลักษณะ

1.3.5 สรุปผลการทดลองและทำรายงานการทดลองเพื่อนำเสนอผลที่ได้จากการ ทดลอง

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ทดลองแท่งอ้างอิงทางความแข็งในหน่าย HRC ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ

1.4.2 กระบวนการผลิตและรูปร่างแท่งอ้างอิงทางความแข็งตามมาตรฐาน ISO 6508-3

1.4.3 สร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงาน ขนาดจานขัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้ว 1 เครื่อง

บทที่ 2
การศึกษาการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่

การวัดความแข็งเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพวัสดุและชิ้นส่วนโลหะ ที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง การวัดความแข็งมีหลายวิธี เช่นการวัดความแข็งแบบบริเนลล์ แบบวิกเกอร์และร็อคเวลล์ แต่ที่นิยมกันมากคือการวัดความแข็งแบบ ร็อคเวลล์ ซึ่งเครื่องวัดความแข็งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ที่ใช้กันอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ตามโรงงานอุตสาหกรรม ต้องมีการกำหนดการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ ตามระยะเวลาเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด โดยใช้แท่งอ้างอิงทางความแข็งเป็นตัวสอบเทียบเครื่องมือวัด

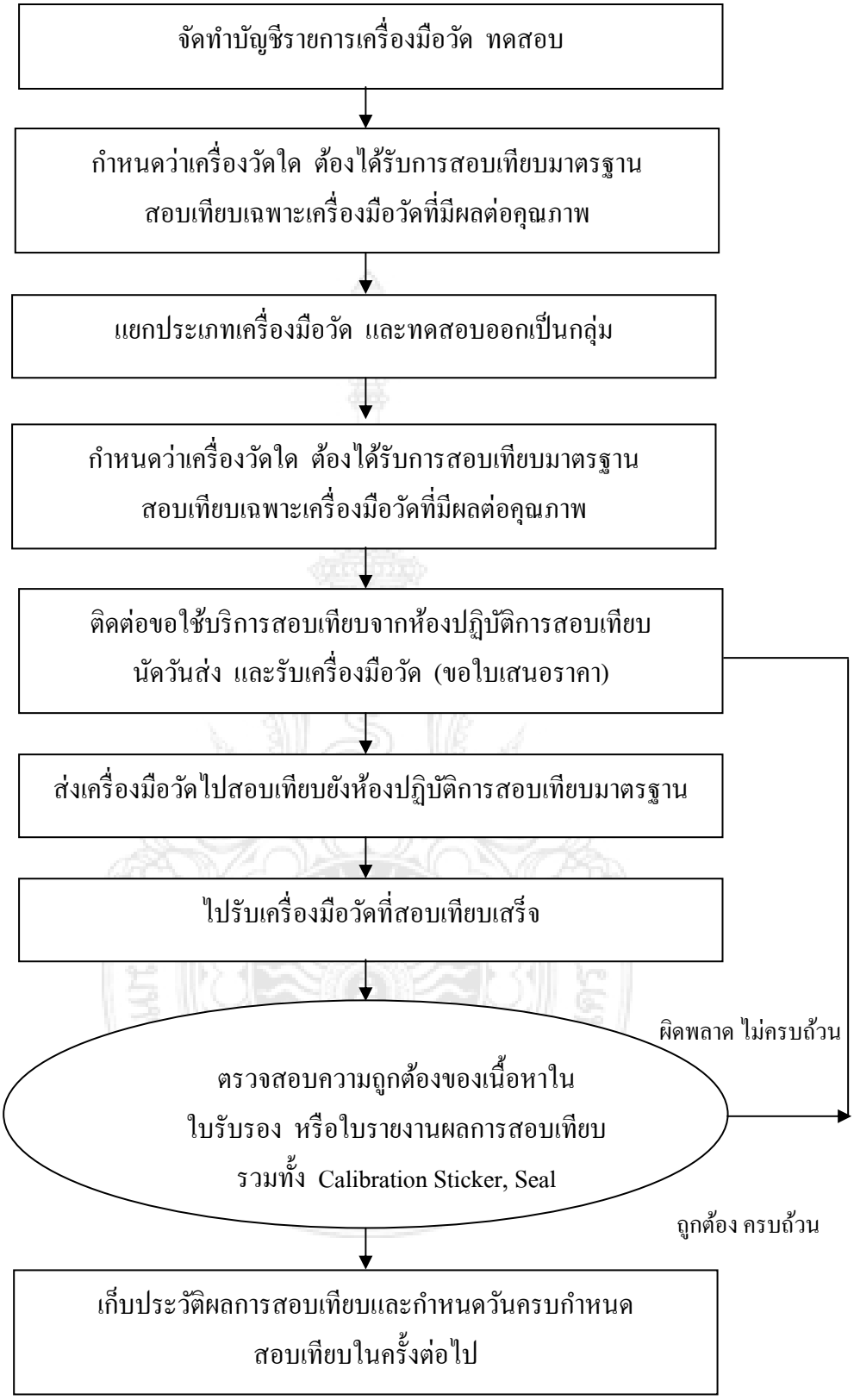
การศึกษาการผลิตแท่งอ้างอิงทางความแข็ง จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจด้านกรรมวิธีการชุบแข็ง และโครงสร้างโลหะวิทยา

2.1 การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดตามระยะเวลา

การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดตามระยะเวลา (Periodic Calibration) มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าเครื่องมือวัด และทดสอบที่เราใช้ในการผลิต และการให้บริการยังทำงานได้อย่างถูกต้อง ตามคุณภาพที่เรายอมรับ และสามารถเชื่อถือในผลการวัดที่ได้รับจากการใช้เครื่องมือวัดนั้น นอกจากนั้นการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดยังเป็นการสร้างหลักฐานที่เป็นเอกสาร เพื่อยืนยันในความถูกต้องของเครื่องมือวัด ที่ใช้ในกระบวนการผลิตและให้การบริการ ที่ลูกค้าของเราหรือผู้ตรวจประเมินระบบคุณภาพตามข้อกำหนดข้อ 4.11 ของ ISO 9001 และ ISO 9002 สามารถตรวจสอบได้ การดำเนินการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดนั้นสามารถดำเนินการได้สองแนวทางคือ

1. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดในหน่วยงานของเราเอง (In House Calibration)
2. ส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบยังห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐาน นอกหน่วยงาน (External Calibration)

การดำเนินการในกรณีที่ ต้องส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบมาตรฐานนอกหน่วยงาน โดยเริ่มที่การเตรียมการต่าง ๆ ตั้งแต่การติดต่อประสานงานจนกระทั่ง นำเครื่องมือวัดกลับมาใช้งานซึ่งบทความนี้จะเป็นประโยชน์ สำหรับผู้ที่กำลังต้องการส่งเครื่องมือวัด ออกไปสอบเทียบมาตรฐานนอกหน่วยงาน สำหรับหัวข้อเกี่ยวกับการดำเนินการสอบเทียบมาตรฐานภายใน จะได้กล่าวถึงในโอกาสต่อไป ขั้นตอนการดำเนินงานในการส่งเครื่องมือวัดไปยังสอบเทียบมาตรฐานนอกหน่วยงาน จัดเป็นลำดับได้ตามภาพ 2-1 โดยมีวิธีดังนี้



ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนในการขอใช้บริการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด

2.1.1 ความจำเป็นของการสอบเทียบ

เหตุผลหลักของการสอบเทียบก็เพราะในระยะเวลาที่ผ่านไป เครื่องมือและอุปกรณ์การวัดมิได้มีความเสถียรภาพ (Unstable) ความไม่เสถียรภาพเบี่ยงเบนจากเดิม (Drift) ทำให้การสอบเทียบใหม่ (Recalibration) เป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้มั่นใจว่า คุณสมบัติจำเพาะของเครื่องวัดได้ตามต้องการ ลักษณะการใช้งานสภาพแวดล้อมและเวลา ต่างมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของเครื่องวัดในหลาย ๆ ทาง เครื่องวัดแบบเดียวกันช่วงวัดเหมือนกัน ผลิตรุ่นเดียวกันทำให้มีสมรรถนะที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงได้ เครื่องวัดเครื่องหนึ่งจะพบว่ามีเสถียรภาพดีในขณะที่อีกเครื่องหนึ่งไม่ดีอย่างมาก ด้วยเหตุนี้การทำการสอบเทียบตามความต้องการของ ISO 9000 จึงต้องการให้ทำการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอตามระยะเวลาที่เหมาะสม

2.2 กรรมวิธีทำการสอบเทียบ

เพื่อให้ทำการสอบเทียบถูกวิธี สิ่งต่อไปนี้เป็นสิ่งที่สำคัญคือมาตรฐานสำหรับใช้สอบเทียบจะต้องมีความเที่ยงตรงที่เหมาะสม การสอบเทียบ (Calibration) คือ ชุดปฏิบัติการซึ่งปฏิบัติภายใต้เงื่อนไข ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของเครื่องวัด (ความแตกต่างระหว่างมาตรฐานกับเครื่องวัดที่จะถูกสอบเทียบ) ความไม่แน่นอน (Uncertainty) นั้นจะรวมปริมาณทางมาตรวิทยาทั้งหมด ระหว่างทำการเสอบเทียบ เช่น

1. สภาวะแวดล้อม
2. ความไม่แน่นอนของมาตรฐานที่ใช้
3. อุณหภูมิ
4. ความดันบรรยากาศ
5. ความชื้น แรงโน้มถ่วงของโลก ณ ที่นั้น
6. ความไม่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่ใช้
7. จำนวนการถ่ายทอดมาตรฐาน ความไม่แน่นอนจะเพิ่มขึ้นทุก ๆ การถ่ายทอด
8. วิธีการบันทึกข้อมูล และวิธีการส่งข้อมูล
9. วิธีการสอบเทียบ

การสอบเทียบ คือการนำเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานมาวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานที่มีค่าความถูกต้องสูงกว่า ภายใต้ภาวะที่กำหนดทำให้สามารถประมาณค่าผิดพลาดของเครื่องมือนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ยังต้องสามารถสอบย้อน กลับไปยังมาตรฐานการวัดระดับชาติหรือระหว่างประเทศได้ โดยไม่ขาดช่วงเพื่อสามารถนำเครื่องมือ หรืออุปกรณ์นั้นไปใช้ในกระบวนการผลิต หรือบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับช่วงเวลาของการสอบเทียบนั้นควรกำหนดตามคุณลักษณะและการใช้งานของเครื่องมือ หรืออุปกรณ์นั้นๆ โดยส่วนใหญ่มักจะกำหนดรอบเวลาในการสอบเทียบใหม่

เป็นระยะเวลา 1 ปี แต่อาจกำหนดให้สั้นกว่าหรือยาวกว่านี้ก็ได้ขึ้นกับสภาพการใช้งาน นอกจากนี้การสอบเทียบยังก่อให้เกิดประโยชน์หลายทางเช่น

1. การยอมรับระหว่างกัน
2. การรองรับความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. การรองรับการผลิตทางอุตสาหกรรมที่กำลังขยายตัวอย่างมากทั้งในปัจจุบันและอนาคต
4. เพิ่มขีดความสามารถในการวัดให้มีความแม่นยำมากขึ้น

ยิ่งกว่านั้นตามข้อกำหนด ISO 9000 ฉบับ 2000 ได้กำหนดให้มีการสอบเทียบเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต บริการที่มีผลเกี่ยวข้องกับคุณภาพของสินค้า บริการที่ใช้กระบวนการผลิต หรือบริการที่มีผลเกี่ยวข้องกับคุณภาพของสินค้าหรือบริการอันเป็นเครื่องยืนยันว่าการสอบเทียบเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของสินค้าและบริการ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการสอบเทียบจำเป็นสำหรับมาตรฐานอุตสาหกรรมและเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติทั้งในปัจจุบันและอนาคต

เหตุผลที่ต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

1. ด้านคุณภาพ
2. ด้านความสม่ำเสมอในคุณภาพ
3. สอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานต่างๆ

ประโยชน์ของการสอบเทียบเครื่องวัด

1. การสอบเทียบทำให้มั่นใจได้ว่าทุกกระบวนการผลิตต่างๆ ที่อิสระจากกันนั้น กำลังทำงานภายใต้มาตรฐานเดียวกันในขณะนี้
2. การสอบเทียบทำให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการผลิตเหล่านี้ ทำงานคงอยู่ภายใต้มาตรฐานเดียวกัน
3. การสอบเทียบช่วยเสริมคุณภาพสินค้าและช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

การวัดเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการดำรงคุณภาพ ดังนั้นข้อมูลต่อไปนี้จะต้องชัดเจน คือ

1. คุณสมบัติจำเพาะที่เราจะทำการวัด
2. หน่วยที่จะทำการวัด
3. วิธีการวัดที่จะใช้สิ่งที่สัมพันธ์กับกระบวนการการวัด การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนอิทธิผลภายนอก
4. การดำเนินการวัดจะต้องประกอบด้วยมาตรฐานอุปกรณ์การวัด และสิ่งที่จะไม่เกี่ยวข้อง (ไปทำการวัด)

ความจำเป็นของการสอบเทียบ เหตุผลหลักของการสอบเทียบก็เพราะในระยะเวลาที่ผ่านไป เครื่องมือและอุปกรณ์การวัดมิได้มีความเสถียรภาพ (Stable) ความไม่เสถียรภาพ (Unstable/drift) ทำให้การสอบเทียบใหม่ (Recalibration) เป็นสิ่งจำเป็น ที่จะทำให้มั่นใจว่าคุณสมบัติจำเพาะเครื่องวัดตรงตามความต้องการ

ลักษณะการใช้งาน สภาพแวดล้อมและเวลา ต่างมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของเครื่องวัดในหลายๆ ทาง เครื่องวัดแบบเดียวกัน ช่วงวัดเหมือนกัน ผลิตรุ่นเดียวกันก็สามารถมีสมรรถนะที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงได้ ด้วยเหตุนี้การทำการสอบเทียบตามความต้องการของ ISO 9000 จึงต้องการให้ทำการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอตามระยะเวลาที่เหมาะสม

การทำการสอบเทียบ การสอบเทียบที่ถูกวิธี สิ่งสำคัญ คือ

1. มาตรฐานสำหรับใช้สอบเทียบจะต้องมีความเที่ยงตรงที่เหมาะสม และมีความเที่ยงตรงสูงกว่าเครื่องวัดที่จะทำการสอบเทียบ (ดีกว่า 3-10 เท่าถ้าทำได้)

2. ต้องทำการสอบเทียบภายใต้สภาวะที่มีเสถียรภาพ มิฉะนั้นจะเป็นการเพิ่มความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ

3. การสอบเทียบต้องกระทำอย่างน้อย 3 จุดวัด คือจุดใช้งานสูงกว่าและต่ำกว่าจุดใช้งานตามความสำคัญโดยทั่วไปอาจสอบเทียบที่ 10% 50% 90% ของช่วงวัด Instrument Society of America (ISA) แนะนำให้ทำที่ 10% 30% 50% 70% 90%

4. สืบทอดมาตาฐานการสอบเทียบไปถึงมาตรฐานนานาชาติ (International Standard) ได้ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

5. ต้องปฏิบัติตามกระบวนการสอบเทียบที่กำหนด เพราะจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลการสอบเทียบของเครื่องวัดแต่ละตัวได้ จึงควรทำการสอบเทียบด้วยกระบวนการเดียวกันทุกครั้ง

2.3 การกำหนดระยะเวลาทำการสอบเทียบเครื่องตรวจ เครื่องวัด เครื่องทดสอบ

เป็นสิ่งหนึ่งในนโยบายคุณภาพที่มาตรฐาน ISO 9000 ต้องการให้ระบุในคู่มือคุณภาพและให้ปฏิบัติในกระบวนการของบริษัท ภายในคู่มือจะต้องบันทึกการสอบกลับมาตรฐาน (Traceability) ถึงมาตรฐานแห่งชาติด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาใบรับรองการสอบเทียบ (Calibration Certificate) จะพบว่าการไม่ระบุระยะเวลาที่ยังคงใช้งานได้ปรากฏอยู่ ผู้ใช้จะต้องกำหนดระยะเวลาทำการสอบเทียบในคู่มือคุณภาพเมื่อคุณกำหนดระยะเวลาด้วยตนเอง ก็จะเป็นการกำหนดระยะเวลาที่ยังคงใช้งานได้ของเครื่องมือดังกล่าว

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานหรือผู้ผลิตสามารถทำได้เพียงแนะนำในเรื่องนี้เหตุผลก็คือว่าการสอบเทียบนั้นเป็นเหมือนการถ่ายภาพ เพราะเป็นเพียงการบอกว่าเครื่องมือวัดทำงานดีเพียงใด ณ ขณะนั้น (ขณะที่ทำงานสอบเทียบ) โปรดสังเกตว่า การตรวจสอบความจริงอย่างไรก็มีข้อจำกัดในความใช้ได้อยู่

การสอบเทียบใหม่มีต้นทุนทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย เพื่อที่จะทำให้เหมาะสมเกี่ยวกับเวลาสำหรับการสอบเทียบใหม่ควรจะนำสิ่งต่อไปนี้มาประเมินด้วย

1. ความเที่ยงตรง
2. คุณสมบัติจำเพาะของเครื่องมือวัด
3. ผลการสอบเทียบครั้งที่แล้ว
4. ความบ่อยและวิธีใช้งานเครื่องวัด
5. วิธีขนย้ายและวิธีจัดเก็บเครื่องมือวัด
6. ความเป็นไปได้ที่จะตรวจสอบระหว่างการสอบเทียบ
7. อิทธิพลหรือผลกระทบจากความเที่ยงตรงของเครื่องวัดที่มีต่อผลผลิตภัณฑ์

ในทางปฏิบัติ ตามปกติทั่วไปจะใช้ช่วงระยะเวลา 1 ปี สำหรับการสอบเทียมใหม่ แต่ถ้าไม่มีประวัติการสอบเทียบและข้อมูลให้พิจารณา ขอแนะนำให้ใช้ช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า 1 ปี คงเห็นชัดว่าจะแนะนำเสมอว่าให้ศึกษาคุณสมบัติจำเพาะของเครื่องวัดอย่างถี่ถ้วน

ความไม่แน่นอนของการวัด คือผลการประเมินที่เจาะจงไปที่คุณสมบัติเฉพาะในช่วงที่คาดว่าค่าจริงของสิ่งที่จะวัดนั้นเป็นอยู่ โดยทั่วไปจะระบุพร้อมด้วยค่าความน่าจะเป็นไปได้ด้วย

หมายเหตุ ความไม่แน่นอนของการวัดนั้นโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยหลายองค์ประกอบ บางองค์ประกอบอาจถูกประมาณมาด้วยวิธีทางสถิติใช้กับผลการวัดหลายๆ ครั้ง แล้วใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง (Experimental Standard Deviation) เป็นตัวบอกคุณสมบัติ (เรียก Type A ตามมาตรฐาน M3003 ของ NAMAS U.K. เป็นต้น) หรือการประมาณค่าขององค์ประกอบอื่น ๆ นั้นสามารถทำได้โดยใช้พื้นฐานของประสบการณ์ หรือข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เท่านั้น (เรียก Type B ตามมาตรฐาน M3003 ของ NAMAS U.K. เป็นต้น) ความผิดพลาด (สุทธิ) ของการวัด คือผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริงของสิ่งที่ทำการวัด (Error = Indicated Value - True Value) ค่าความผิดพลาดที่รู้ค่า สามารถชดเชยโดยเพิ่มหรือลดค่าแก้ไข (Corrections) เข้าไป ความผิดพลาดของผลลัพธ์ที่แก้ไขแล้วนี้จะบอกได้ด้วยค่าความไม่แน่นอนเท่านั้น ความผิดพลาดสุทธิ จะมีเครื่องหมาย + หรือ - อย่าใช้สับสนกัน ค่าผิดพลาดสุทธิของความผิดพลาดที่เป็นสัมประสิทธิ์ของความผิดพลาด

ค่าแก้ไขความผิดพลาด คือค่าที่รวมกันทางพีชคณิตกับค่าผิดพลาดของการวัดเพื่อชดเชยความผิดพลาดสมมติเชิงระบบ (Assumed Systematic Error) ค่าแก้ไขความผิดพลาดมีค่าเท่ากับค่าความผิดพลาดสมมติเชิงระบบ แต่มีเครื่องหมายตรงข้าม เนื่องจากความผิดพลาดเชิงระบบนั้นไม่รู้ค่าที่แท้จริง การแก้ไขความผิดพลาดจึงขึ้นกับค่าความไม่แน่นอน

การปรับแต่ง คือกระบวนการปฏิบัติที่จะทำให้เครื่องวัดกลับมามีสถานะตามสมรรถนะ (Performance) ที่เหมาะสมกับการใช้งาน อิสระจากสิ่งบิดเบือนผิดพลาด

ช่วงวัดใช้งาน คือ กลุ่มค่าวัดของสิ่งที่ต้องการวัดค่าที่ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดจะยังคงอยู่ภายใต้ในขีดจำกัดเพราะใช้งานที่ต้องการ ขีดจำกัดบนและล่างของช่วงวัดใช้งานบางครั้งจะเรียกว่า ความสามารถสูงสุด (Maximum Capacity) และความสามารถต่ำสุด (Minimum Capacity) ตามลำดับ ในงานบางสาขาช่วงวัดถูกใช้ในความหมายของค่าแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด

มาตรฐานการวัด ขึ้นอยู่กับวัสดุการวัด เครื่องวัด วัสดุ หรือระบบอ้างอิงที่เป็นที่ยอมรับหรือสร้างซ้ำในเรื่องของหน่วย (Unit) ค่าของปริมาณหนึ่งหรือหลายๆ ค่า เพื่อถ่ายทอดค่าต่างๆ เหล่านั้นไปสู่เครื่องวัดอื่นๆ โดยการเปรียบเทียบกัน

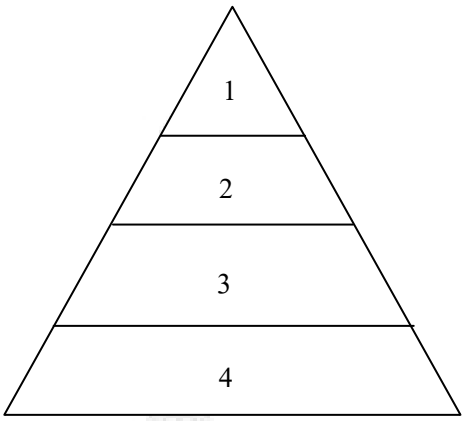
แท่งอ้างอิง คือวัสดุหรือสสารที่มีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างที่จัดเตรียมขึ้นดีเพียงพอสำหรับใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือ หรือใช้ประเมินวิธีการวัด หรือใช้กำหนดค่าวัสดุ (นิยามนี้นำมาจาก ISO Guide 30 ซึ่งยังมีการขยายความเพิ่มเติมอีกหลายอย่าง) มาตรฐานการวัดสากล คือ มาตรฐานที่ยอมรับโดยความเห็นร่วมกันของนานาชาติ ที่จะให้บริการกับนานาชาติในฐานะเป็นค่าคงที่พื้นฐาน สำหรับมาตรฐานของปริมาณอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานการวัดแห่งชาติคือมาตรฐานที่ยอมรับอย่างเป็นทางการของประเทศที่จะใช้บริการภายในประเทศในฐานะเป็นค่าคงที่พื้นฐานสำหรับมาตรฐานปริมาณอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

หน่วยของการวัด ในระบบการวัดทางด้านความแข็งได้ถูกจัดให้เข้าสู่ระบบมาตรฐานสากลในที่นี้หมายถึง เครื่องวัดความแข็งที่ใช้เป็นมาตรฐานระบบต่างๆ เช่น ระบบร็อกเวลล์ (HR) ระบบวิกเกอร์ (HV) และระบบบริเนลล์ (HB) รวมไปถึงเครื่องมือวัดทางด้านมิติที่เป็นส่วนประกอบของตัวเครื่อง ซึ่งได้มีการจัดให้อยู่ภายใต้ระบบมาตรวิทยารวมถึงเสถียรภาพในหน่วยการวัดค่าความแข็งและขบวนการถ่ายทอดค่าความไม่แน่นอนของการวัด

2.4 ระดับมาตรฐานทางด้านความแข็ง

เป็นการรับรองความเกี่ยวพันธ์ของสถานะเครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐานเครื่องวัดทางด้านความแข็ง และชนิดของแผ่นความแข็งอ้างอิงที่ได้รับการสอบเทียบเพื่อใช้กับเครื่องวัดความแข็งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของระดับชั้นตามภาพที่ 2-2 แถวที่ 2 และ 3



1. องค์กรนานาชาติ
2. เครื่องวัดความแข็งมาตรฐานระดับชาติในแต่ละประเทศ
3. แผ่นความแข็งมาตรฐาน
4. เครื่องวัดความแข็งที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ภาพที่ 2-2 แผนผังแสดงลำดับการวัดทางด้านความแข็ง ในปัจจุบัน

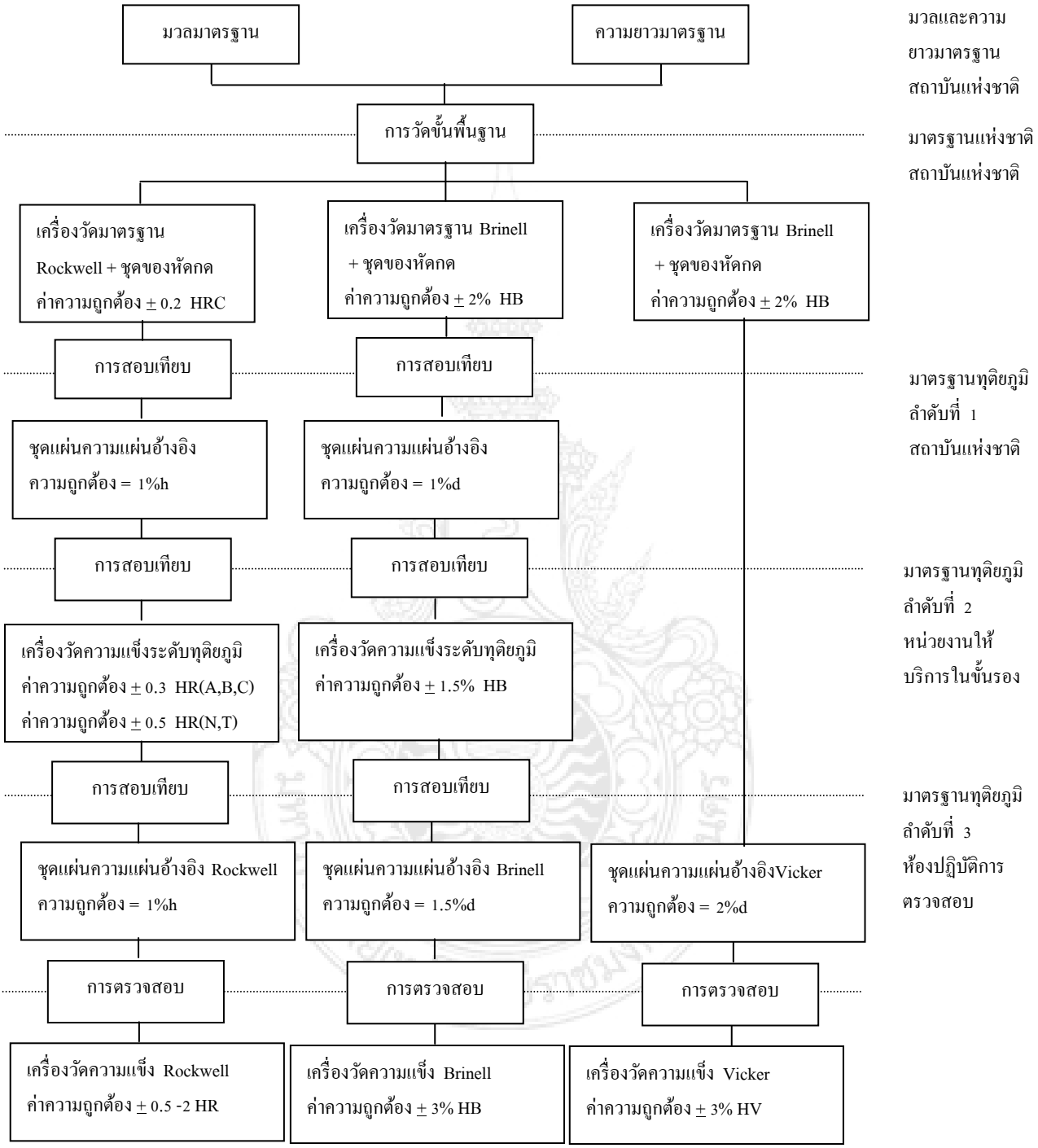
2.5 ลำดับของการสอบย้อน

ค่าที่ถูกวัดด้วยเครื่องวัดความแข็งต้องมีการสอบย้อนถึงมาตรฐานและสามารถแสดงความต่อเนื่องได้ถึงระดับสากลหรือมาตรฐานขั้นปฐมภูมิของชาติ เครื่องที่ใช้ปฏิบัติการเป็นประจำจะต้องถูกตรวจสอบความเหมาะสม จากสถาบันมาตรวิทยาด้วยการแสดงให้เห็นถึงแผนภูมิลำดับความถูกต้องต่างๆ โดยให้แถวล่างสุดของแผนภูมิมีค่าความถูกต้องต่ำและค่าความถูกต้องที่ดีกว่าจะอยู่ในลำดับที่สูงขึ้นไป ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของแผนภูมิตามข้อกำหนดมาตรฐานสากล

แผนภูมิของการวัดทางด้านความแข็งในอนาคตสามารถแสดงได้ในภาพที่ 2-1 ซึ่งแสดงความต่อเนื่องของสถานะของเครื่องมือ ที่ระดับสูงถ่ายทอดความถูกต้องไปยังแผ่นความแข็งและถูกถ่ายทอดไปยังเครื่องมืออีกระดับหนึ่ง ถึงแม้ว่าจะมีการพิจารณาร่วมกันในการจัดระดับความสำคัญมาตรฐานทางด้วยความแข็งให้อยู่ในระดับสากล แต่ปัจจุบันในแต่ละประเทศยังคงยึดถือมาตรฐานระดับชาติเป็นสำคัญ

ลำดับของสถานะภาพในปัจจุบันแสดงให้เห็นได้ตามภาพที่ 2-2 เครื่องวัดความแข็งมาตรฐานระดับชาติยังคงอยู่แถวที่ 2 ซึ่งเป็นการอยู่อย่างอิสระแต่มีความเกี่ยวข้องกัน โดยการเปรียบเทียบกับระดับสากลโดยการใช้แผ่นอ้างอิงมาตรฐาน เครื่องมือวัดมาตรฐานระดับชาติที่เป็นแผ่นความแข็งมาตรฐานแถวที่ 3 จะถูกใช้ในการให้บริการในการทวนสอบเครื่องวัดความแข็งของโรงงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่

บ่งชี้ให้เห็นถึงรายละเอียด ลำดับของแผนภูมิที่ใช้ในการบริหารงานมาตรวิทยาแห่งชาติ ภาพที่ 2-3 ระดับมาตรฐานแห่งชาติ จะถูกสอบย้อนโดยใช้การวัดที่เป็นมูลฐานของมาตรฐานทางด้านมวลและความยาว



HR,HB,HV หน่วยของความแข็ง

H ความลึกของรอยกดในระบบการวัดความแข็ง ร็อกเวลล์

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดในระบบการวัดความแข็ง บริเนลล์, เส้นทแยงมุมของรอยกดในระบบการวัดความแข็งวิกเกอร์

ภาพที่ 2-3 ระดับมาตรฐานแห่งชาติจะถูกสอบย้อนโดยใช้การวัดที่เป็นมูลฐานของมาตรฐาน ในส่วนของแผ่นความแข็งมาตรฐาน บริเนลล์ ในลำดับที่ 1 ได้รับการสอบเทียบจาก

ในส่วนของแผ่นความแข็งมาตรฐาน บริเนลล์ในลำดับที่ 1 ได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานที่ให้การรับรอง และในส่วนของแผนภูมิของเครื่องวัดความแข็ง ร็อกเวลล์ ของห้องปฏิบัติการอุตสาหกรรมสามารถได้รับการทวนสอบโดยใช้แผ่นความแข็งอ้างอิงในลำดับที่ 3 ซึ่งได้รับการสอบเทียบจากเครื่องวัดความแข็งขั้นทุติยภูมิของหน่วยงานทางด้านมาตรวิทยาหรือโดยใช้แผ่นความแข็งอ้างอิงในลำดับที่ 1 ซึ่งถูกสอบเทียบความถูกต้องจากเครื่องมือวัดที่เป็นมาตรฐานแห่งชาติ

ในประเทศเล็กๆ เช่นประเทศไทย การสอบเทียบแผ่นความแข็งอ้างอิงมีความจำเป็นและใช้สำหรับการทวนสอบความถูกต้องของเครื่องวัดความแข็ง และจากภาพที่ 2-3 ในส่วนของมาตรฐานขั้นทุติยภูมิ ลำดับที่ 1 และ 2 จึงไม่มีความจำเป็น เพราะเป็นการรวมเข้าด้วยกันเมื่อดูจากภาพที่ 2-2 สำหรับประเทศโปรแลนด์ และประเทศขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ที่จะต้องมีระดับแผนภูมิทั้งห้าระดับในการแสดงให้เห็นถึงวิธีการสอบย้อน และการรักษาไว้ซึ่งระดับความถูกต้องของเครื่องมือในการสนับสนุนเครื่องมือวัดให้กับภาคอุตสาหกรรม

ในหลายๆ ประเทศได้มีการจัดรูปแบบที่เรียกว่า สามส่วนประกอบสำคัญคือ

ถ้ามีส่วนใดส่วนหนึ่งสามองค์ประกอบถูกทำให้เสียหาย เช่น เครื่องเสีย หัวกดแตกชำรุดหรือแผ่นความแข็งเสื่อมสภาพใช้งาน ค่ามาตรฐานของการอ้างอิงยังคงสามารถอ้างอิงไปยังความถูกต้องของส่วนประกอบที่เหลืออยู่

ในปัจจุบันมีหน่วยงานประมาณ 2-3 หน่วยงานภายในประเทศรวมทั้งภาครัฐและเอกชนที่ให้บริการตรวจสอบเครื่องมือวัดทางด้านความแข็ง ซึ่งขีดความสามารถของการให้บริการยังคงอยู่ในส่วนของการใช้แผ่นความแข็งอ้างอิง ในการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องให้กับเครื่องมือวัดเท่านั้น กรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นอีกหน่วยงานหนึ่ง ที่ให้บริการตรวจสอบและสอบเทียบทางด้วนความแข็ง และได้เห็นความสำคัญในการรับรองถึงประสิทธิภาพเครื่องมือวัดความแข็งให้กับภาคอุตสาหกรรม ด้วย

ขยายขีดความสามารถในการสอบเทียบ แรงกด และหัวกด ของเครื่องวัด ความแข็ง ร็อกเวลล์ ระบบวิกเกอร์ และระบบบริเนลล์ ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีการวัดให้เข้าสู่ระบบที่เป็นมาตรฐานยิ่งขึ้น ซึ่งคาดว่าจะสามารถให้บริการได้ในเร็วๆ นี้

2.6 ข้อกำหนดของการผลิตแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ร็อคเวลล์ ตามมาตรฐาน ISO 6308-3:2005

2.6.1 กรรมวิธีการผลิตและวิธีการของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง

2.6.1.1 แท่งอ้างอิงทางความแข็งจะต้องทำมาจากวัตถุดิบ ซึ่งประกอบเป็นเนื้อวัสดุเดียวกัน และต้องผลิตเพื่อใช้เป็นแท่งอ้างอิงทางความแข็งเท่านั้น

2.6.1.2 ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. และควรมีความหนาระหว่าง 6-16 มม. ถ้าผลิตจากเหล็กความหนาต้องไม่ต่ำกว่า 12 มม.

2.6.1.3 แท่งอ้างอิงทางความแข็งต้องไม่มีอำนาจแม่เหล็กตกค้าง

2.6.1.4 ความระราบ(Flstness) ของผิวหน้าแท่งอ้างอิงทางความแข็งต้องไม่มากกว่า 0.01 มม. และพื้นผิวด้านล่างต้องไม่โค้งนูน ความขนานของพื้นผิวทั้งสองด้านต้องไม่เกิน 0.02 มม ./ 50 มม.

2.6.1.5 พื้นผิวด้านหน้าแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ต้องไม่มีตำหนิ และรอยขูดขีด ปราศจากออกไซด์ ส่งผลกระทบต่อการวัดค่าความแข็ง ความหยาบผิว (Surface roughness Ra)ด้านหน้าไม่เกินกว่า 0.0003 มม . และด้านล่าง 0.0008 มม.

รูปร่างและส่วนขนาดของแท่งอ้างอิงทางความแข็งสรุปอยู่ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รูปร่างและส่วนขนาดของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ร็อกเวลล์

ความหนา(ผลิตจากเหล็ก)	ไม่น้อยกว่า 12 mm.และไม่เกิน 16 mm.
ความราบของผิวบน (Flatness)	ไม่เกินกว่า 0.01 mm.
ความขนาน (เทียบกับพื้นผิวด้านล่าง)	ไม่เกินกว่า 0.02 / 50 mm.
ความหยาบผิว (ผิวด้านบน)	ไม่เกินกว่า 0.0003 mm. *R*a
ความหยาบผิว (ผิวด้านล่าง)	ไม่เกินกว่า 0.0008 mm. *R*a

จากมาตรฐาน ISO6508-3:2005

2.6.2 การบ่งชี้ค่าความแข็ง

การบ่งชี้ค่าความแข็ง มีการกำหนดทางตัวเลขโดยการใช้ค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของรอยกด 5 รอย ซึ่งเกิดจากการใช้เครื่องทดสอบวัดค่าของ ร็อคเวลล์ และรอยกดต้องมีการกระจายโดยตัวตลอดบนพื้นทดสอบ

2.6.3 การทำซ้ำการกดของความแข็ง

2.6.3.1 การทำซ้ำการกดของความแข็งเป็นการกำหนด และการแสดงค่าที่แสดงใน ร็อคเวลล์ โดยการหาค่าผลต่างระหว่างค่าที่มากที่สุดกับค่าที่น้อยที่สุด จากการวัดโดยการเก็บผลจากรอยกด 5 ครั้ง

2.6.3.2 ความเกี่ยวเนื่องกับการทำซ้ำการกดของความแข็ง ต้องกำหนดเป็นอัตราส่วนแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับการทำซ้ำการกดของความแข็งเพื่อแสดงค่าใน ร็อคเวลล์ โดยการหาค่าเฉลี่ย (ตัวเลขที่ถูกกำหนดขึ้นจากคุณลักษณะของการออกแบบและมีความสำคัญในการบ่งชี้ถึง ชนิดของหัวกดและแรงที่ใช้ของรอยกด 5 รอย

การทำเครื่องหมายแท่งอ้างอิงทางความแข็งประกอบด้วย

1. ด้านใดด้านหนึ่งของผิวหน้าแท่งอ้างอิงทางความแข็งจะต้องมีการทำเครื่องหมาย
2. ชื่อของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง(ค่าความแข็งที่ระบุ)
3. กระบวนการทางตัวเลข สำหรับการผลิต (มีรหัสเพื่อการเก็บผล)
4. การเขียนชื่อย่อ HRB เป็นการบ่งบอกชนิดของความแข็งนั้น ๆ ของแผ่นทดสอบความแข็งช่องว่างและตัวอักษร จะต้องมีช่องว่างสำหรับการใส่ค่าความแข็งของแท่งอ้างอิงทางความแข็งคือตัวเลข 4 ตัว
5. การทำเครื่องหมายแท่งอ้างอิงทางความแข็งที่เกิดขึ้นนั้น จะทำลงบนด้านที่ใช้ทดสอบความแข็งในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับพื้นผิวแต่สามารถอ่านได้ง่าย

2.7 วิธีการตรวจสอบเครื่องมือวัดความแข็ง Rockwell (Verification of Machines for Rockwell)

มีข้อกำหนดพื้นฐานก่อนการตรวจสอบดังนี้

1. ติดตั้งเครื่องในส่วนที่มีการป้องกันการสั่นสะเทือน
2. ติดตั้งเครื่องในส่วนที่มีการจัดตำแหน่ง เช่น แนวดิ่ง และแนวระดับ โดยเครื่องระดับ
3. ส่วนต่างๆ ของเครื่องซึ่งรวมไปถึงอุปกรณ์ ควรอยู่ในที่เหมาะสม ปราศจากฝุ่นละออง และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย

แบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบโดยตรง (Direct Verification)
2. การตรวจสอบทางอ้อม (Indirect Verification)

2.7.1 การตรวจสอบโดยตรง (Direct Verification)

จะใช้เครื่องที่สร้างใหม่ หรือเครื่องที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีข้อกำหนดการตรวจสอบดังนี้คือ

2.7.1.1 การตรวจสอบโดยแรง (Verification of the Force) เป็นการตรวจสอบถึงแรงเบื้องต้นและแรงรวมในแต่ละแรงโดยการทำการวัดไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง ที่ค่าเดียวกันโดยวิธีใดวิธีหนึ่งคือ

ก) เครื่องสอบเทียบทางด้านแรง (Use of Elastic Calibration Devices) โดยค่าความถูกต้อง $\pm$25%

ข) เครื่องสอบเทียบน้ำหนักมาตรฐาน (Use of Equal – Arm Balances and Standard Weight) โดยใช้การสอบเทียบที่ถูกต้อง $\pm$25%

2.7.1.2 การตรวจสอบคุณลักษณะของหัวกด (Verification of Indenter) ซึ่งมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ

ก) ชนิดหัวเพชร (Diamond Indenter) จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

1. ปราศจากการแตกหัก , บิ่นหรือเป็นหลุมสามารถเจาะผ่านชิ้นงานได้ลึกถึง 0.3 มม สำหรับเครื่องวัดความแข็งสเกล Rockwell

2. การตรวจสอบคุณลักษณะของหัวกดโดยการวัดโดยตรง หรือการวัดด้วยเครื่องขยายภาพ โดยการวัดไม่น้อยกว่า 4 จุดในระยะที่เท่ากันซึ่งจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อต่อไปนี้

3. มุมที่จุดยอดรวมของหัวเพชรจะต้องอยู่ในช่วง $120^{\circ} \pm 0.35^{\circ}$

4. จุดยึดติดระหว่างโลหะจะต้องทำมุมไม่แตกต่างกันเกินกว่า $\pm 0.5^{\circ}$

5. การที่รัศมีมีจุดยอดรวมของเพชร จะต้องอยู่ในช่วง 0.200$\pm$0.001 มม. โดยการวัดแต่ละครั้งจะไม่มีค่าไม่เกินช่วง 0.200$\pm$0.015 มม. และมีค่าเบี่ยงเบนจากการวัดไม่เกิน $\pm$0.002 มม.

ข) ชนิดหัวบอล (Steel Balls)

1. ลักษณะทั่วไป ต้องมีพื้นผิวเรียบเป็นมันเงา

2. การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบอลจะต้องวัดไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่ง และจะต้องไม่แตกต่างไปจากตัวเลขที่กำหนด

3. การกำหนดค่าตรวจสอบของหัวบอล

เส้นผ่านศูนย์กลางของบอล		ค่าที่ยอมรับได้	
นิ้ว (in)	มิลลิเมตร (mm)	นิ้ว (in)	มิลลิเมตร (mm)
1/16	1.588	$\pm$0.0001	$\pm$0.0025
1/8	3.175	$\pm$0.0001	$\pm$0.0025
1/4	6.350	$\pm$0.0001	$\pm$0.0025
1/2	12.70	$\pm$0.0001	$\pm$0.0025

2.7.1.3 การตรวจสอบเครื่องวัดความลึกของรอย (Verification of the Measuring Device)

ก) การตรวจสอบเครื่องมือวัดความลึกของรอย โดยการวัดไม่น้อยกว่า 3 ช่วงของค่าความแข็ง ซึ่งรวมไปถึงเป็นการวัดความลึกต่ำสุดและค่าความลึกสูงสุด หรืออย่างน้อยหนึ่งช่วงการใช้งาน

ข) เครื่องมือที่ใช้การตรวจสอบเครื่องวัดความลึก จะต้องมีความถูกต้อง $\pm$0.0002 มม.

ค) ค่าเบี่ยงเบนจากการวัดของเครื่องการวัดความลึก ควรแสดงอยู่ในช่วง $\pm$0.5 มม. ของ Rockwell หรือค่าผิดพลาดไม่เกิน $\pm$0.001 มม. ในสเกล ซี, บี และผิดพลาดไม่เกิน $\pm$0.0005 มม. ในสเกล เอ็น ที

2.7.2 การตรวจสอบโดยอ้อม (Indirect Verification หรือ Standard Hardness Test Blocks)

เป็นการตรวจสอบเครื่องวัดความแข็งจะใช้แท่งอ้างอิงทางความแข็งสอบเทียบความแข็งในลักษณะของการประยุกต์ใช้งานเพื่อการบริการ ซึ่งจะทำการตรวจสอบโดยใช้ความแข็งอ้างอิงอย่างน้อย 3 ค่าของความแข็ง และทำการเปรียบเทียบกับค่าของแท่งอ้างอิงทางความแข็งสอบเทียบความแข็ง

การตรวจสอบเครื่องวัดความแข็ง ไม่ว่าจะตรวจสอบทางตรง หรือการตรวจสอบโดยอ้อมจะแสดงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องทดสอบ ตามตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องทดสอบความแข็ง (Permissible Repeatability and Error of the Testing Machine)

Rockwell hardness Scale	Hardness range of Reference block	Permissible Error Rockwell Units	Permissible Repeatability of th Testing machine
A	20 HRA to $\leq$ 75 HRA >75 HRA to $\leq$ 88 HRA	$\pm$2 HRA $\pm$1.5 HRA	$\leq$ 0.02 (100-H) or 0.8 Rockwell unit
B	20 HRB to $\leq$ 45 HRB >45 HRB to $\leq$ 80 HRB >80 HRB to $\leq$ 100 HRB	$\pm$HRB $\pm$3 HRB $\pm$2 HRB	$\leq$ 0.04 (130-H) or 1.2 Rockwell unit
C	20 HRC to $\leq$ 75 HRC	$\pm$1.5 HRC	$\leq$ 0.02 (100-H) or 0.8 Rockwell unit

ตามมาตรฐาน ISO 6508-2 : 1999(E) [4]

จากตารางที่ 2-2 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบความแข็ง ร็อคเวลล์ ในหน่วยสเกลบี ช่วงความแข็ง 80-100 HRB มีค่า ± 2 HRB และมีค่าการกดซ้ำของเครื่องทดสอบความแข็ง $\leq$ 1.2 Rockwell unit และการแบ่งระดับค่าความแข็งของแท่งมาตรฐานทดสอบความแข็ง ร็อคเวลล์ แสดงได้ตามตารางที่ 2-3

จากตารางที่ 2-2 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบความแข็ง ร็อคเวลล์มีค่า +/ HRC ในช่วงความแข็ง 20-60 HRC และมีค่าการกดซ้ำของเครื่องทดสอบความแข็ง 1.2 Rockwell unit และการแบ่งระดับค่าความแข็งของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ร็อคเวลล์ แสดงได้ตามตารางที่ 2-3

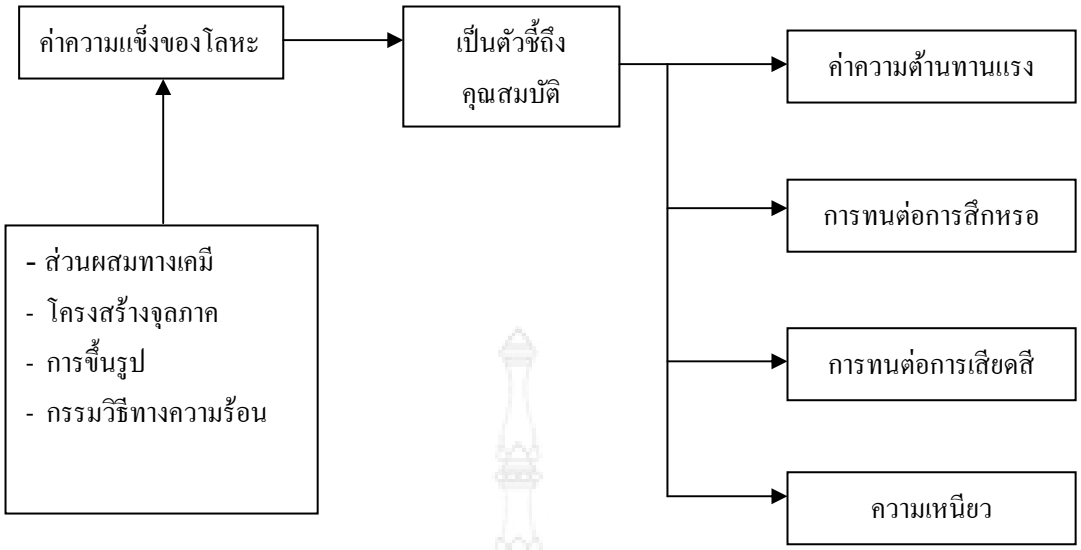
ตารางที่ 2-3 แสดงระดับค่าความแข็งของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง (Rockwell)

จากมาตรฐาน ISO6508-2: 1999(E) [3,4,5]

Rockwell hardness scale	Hardness range of reference block
A	20HRA to 40 HRA 45HRA to 75 HRA 80HRA to 88 HRA
B	20HRB to 50 HRB 60HRB to 80 HRB 85HRB to 100 HRB
C	20HRC to 30 HRC 35HRC to 55 HRC 60HRC to 70 HRC

2.8 การทดสอบค่าความแข็งทางกล (Hardness Testing)

ค่าความแข็งของวัสดุนับว่าเป็นคุณสมบัติทางกลที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะสามารถใช้เป็นตัวชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของวัสดุเช่น การทนต่อการสึกหรอ ความแข็งแรง และเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก โดยใช้หลักการวัดความสามารถต้านทานการกดเข้าของตัวกดที่แข็งกว่าวัสดุที่ทดสอบ ทั้งนี้ความแข็งขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างจุลภาพ การขึ้นรูปและกรรมวิธีทางความร้อน การทดสอบความแข็งยังเป็นการทดสอบกึ่งทำลาย ภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2 -4 ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุ
และเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งโลหะ

ความแข็งของชิ้นงานเหล็กกล้าชุบแข็ง เป็นสมบัติทางกลชนิดหนึ่ง ที่นิยมวัดเพื่อตรวจสอบคุณภาพงานชุบแข็ง เป็นการกำหนดรายการความละเอียดการทำงานด้านกรรมวิธีทางความร้อนและเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย แต่บางกรณีก็จำเป็นต้องตรวจสอบแบบทำลาย กรณีการหาความแข็งลึก

การวัดความแข็งที่นิยมใช้กันทั่วไป มี 3 ประเภท คือ

1. การวัดความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Testing)
2. การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Testing)
3. การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Testing)

2.9 การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Testing)

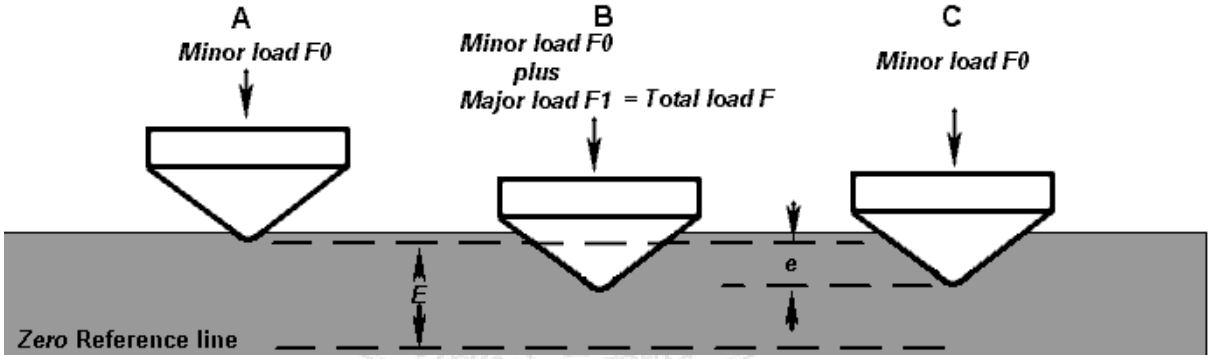
ข้อดี ของการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ เมื่อเทียบกับแบบบริเนลล์ และวิกเกอร์สอยู่ที่ความรวดเร็วของการวัด ขณะที่ผู้ปฏิบัติการดำเนินการให้หัวกด กดลงบนชิ้นงานทดสอบสามารถติดตามดูการเคลื่อนที่ของเข็มนาฬิกาวัดความลึก จนกระทั้งเข็มชี้หยุดนิ่ง จึงค่อยนำแรงกดออกโดยไม่ต้องรอเวลากดคงแรงกด นอกจากนั้นยังประหยัดเวลาทดสอบอย่างมากอีก เพราะไม่จำเป็นต้องวัดขนาดรอยกดและไม่ต้องใช้ตารางคำนวณค่าความแข็ง เนื่องจากความสามารถอ่านค่าความแข็งจากนาฬิกา วัดความลึก (Dial Gauge) ซึ่งแปลงเป็นค่าความแข็งได้โดยตรง

ข้อเสีย ของการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ คือความหนาของชิ้นงานทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 10 เท่าของความลึกรอยกด ซึ่งเป็นเงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบความแข็ง แบบวิกเกอร์แต่วิกเกอร์สามารถวัดรอยกดขนาดเล็กได้แม่นยำ ในขณะที่แบบร็อคเวลล์ไม่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากความลึกรอยกดมี

ขนาดน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด หรือเส้นทแยงมุมรอยกดมาก ซึ่งแบบวิกเกอร์ส สามารถเลือกใช้แรงกดที่น้อยกว่าได้

ถ้าต้องการทดสอบความแข็งชิ้นงานบางๆ หรือชิ้นงานที่ชุบผิวแข็งที่ชั้นลึกไม่มากในอเมริกาได้แก้ไขข้อเสียเหล่านี้ โดยการกำหนดการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์หลายแบบโดยใช้แรงกดและหน่วยวัดที่แตกต่างกัน ในขณะที่ยุโรปและประเทศไทยกำหนดให้เป็นมาตรฐานเพียง 2 วิธี แบบรอกเวลล์ซี (Rockwell – C) และร็อคเวลล์บี (Rockwell – B)

การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นวิธีที่วัดได้รวดเร็ว โดยใช้หลักการวัดความลึกของตัวกด ซึ่งมักจะอ่านค่าความแข็งจากความลึกได้โดยตรงไม่ต้องนำไปคำนวณค่าใดๆ การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์มีหลายสเกล เช่น ร็อคเวลล์ซี (HRC) ร็อคเวลล์บี (HRB) และร็อคเวลล์เอ (HRA) เป็นต้น ข้อแตกต่างของร็อคเวลล์แต่ละวิธีอยู่ที่หัวกด และแรงที่ใช้ในการกด ร็อคเวลล์บีไม่เหมาะสมกับชิ้นงานเหล็กกล้าชุบแข็ง แต่เหมาะกับการทดสอบความแข็งโลหะที่อ่อนหรือเหล็กกล้าแข็งขนาด 1/16” (1.59 มม.) สำหรับ HRC และ HRA ใช้หัวกดเป็นเพชรทรงกรวยมุม 120 องศา ข้อแตกต่างอยู่ที่แรงที่ใช้กด HRC ใช้แรงกด 150 kgf ในขณะที่ HRA ใช้แรงกด 60 kgf HRC เหมาะกับชิ้นงานเหล็กกล้าชุบแข็งทั้งชิ้นและผิวแข็ง ความแข็งที่วัดได้อยู่ระหว่าง 20-68 HRC สำหรับ HRA เหมาะกับชิ้นงานเหล็กกล้าชุบแข็ง เช่นกัน โดยเฉพาะกับชิ้นงานบาง หรือชิ้นงานชุบผิวแข็งที่มีค่าความแข็งลึกต่ำ ความแข็งที่วัดได้อยู่ในช่วง 20 ถึง 88 HRA



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างการทดสอบ HRC

2.10 การทดสอบด้านโครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์เสมอไป ข้อมูลด้านความแข็งนับว่ามีความสำคัญมากที่สุด และส่วนใหญ่เพียงพอในการย้อนรอยแต่ในบางกรณี เช่น การชุบผิวแข็ง ที่มีค่าความแข็งลึกไม่มาก เช่น การชุบแข็งแบบไนไตรดิ่ง การวัดชั้นความแข็งลึกสามารถทำได้ง่ายกว่า โดยการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยตรง โดยการวัดชั้นลึกผ่านกล้องจุลทรรศน์ขณะเดียวกันโครงสร้างจุลภาคมักสอดคล้องกับค่าความแข็งที่ได้ ซึ่งสามารถยืนยันการแพร่เข้าไปของคาร์บอนในชิ้นงานได้ เช่น กรณีการชุบผิว แข็งด้วยวิธีคาร์บุไรซิง เป็นต้น

2.11 การตัดเฉือนวัสดุ: วัสดุเครื่องมือตัด

เครื่องมือในการตัดเฉือนวัสดุที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี่มีอยู่มากมายหลากหลายชนิดประเภท ในแง่ของวัสดุที่ใช้ พบว่าวัสดุที่นำมาผลิตเป็นเครื่องมือตัดมีตั้งแต่ high carbon steel ไปจนถึง ceramics และเพชร ด้วยความหลากหลายของวัสดุที่ใช้ สิ่งสำคัญที่ควรใส่ใจคือ วัสดุเครื่องมือตัดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างไร และจะเลือกเครื่องมือตัดให้เหมาะสมกับงานตัดเฉือนได้อย่างไร

ปัจจุบันมีผู้ผลิตเครื่องมือตัดมากมายหลายบริษัท ซึ่งแต่ละบริษัทก็จะมีชื่อเรียกหรือรหัสของเครื่องมือตัดแตกต่างกันไป บางครั้งชื่อเรียกที่เหมือนกัน แต่ลักษณะการนำไปใช้กลับแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง โดยส่วนใหญ่ ผู้ผลิตจะมีระดับของเครื่องมือตัดที่แตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะกระบวนการและวัสดุงาน เครื่องมือตัดสำหรับงานเฉพาะด้าน เช่นการตัดวัสดุที่มีความแข็งมาก ราคาของมีดตัดมักจะสูงกว่ามีดตัดสำหรับงานทั่วๆ ไป อย่างไรก็ตาม มันก็ไม่ได้หมายความว่า เครื่องมือตัดราคาแพงจะให้ผลของการตัดที่มีคุณภาพดีตามราคาแต่อย่างใดเนื่องด้วยเทคโนโลยีวัสดุ การออกแบบและการผลิตเครื่องมีตัด ได้รับการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา มีดตัดที่เคยใช้กับงานแบบเดียวกัน อาจเปลี่ยนไปในการทำงานครั้งต่อๆ ไป ตามความเหมาะสม เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในแง่ของค่าใช้จ่ายต่างๆ ในกระบวนการ โดยยังคงคุณภาพงานตัดที่ดีในระดับที่ต้องการได้

หัวใจสำคัญของเครื่องมือตัดไม่ว่าจะใช้ในงานตัดแบบใดก็ตาม จะต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้ เพื่อให้ได้งานตัดที่มีคุณภาพดีและค่าใช้จ่ายโดยรวมในกระบวนการตัดเฉือนอยู่ในระดับที่เหมาะสม

1. ความแข็ง — ความแข็ง (hardness) และความแข็งแรง (strength) ของเครื่องมือตัดต้องยังรักษาระดับความแข็งและความแข็งแรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง หรือที่เรียกว่า hot hardness

2. ความเหนียว — เครื่องมือตัดที่มีความเหนียวจะต้านการเปลี่ยนรูป การแตกหักเสียหาย ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในกระบวนการตัดวัสดุที่มีความไม่ต่อเนื่องอยู่ในเนื้อวัสดุมาก เช่นวัสดุในกลุ่มเหล็กหล่อและอโลหะ

3. ความต้านทานการสึกหรอ — เครื่องมือตัดที่ดีต้องมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูง นั่นหมายถึงอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

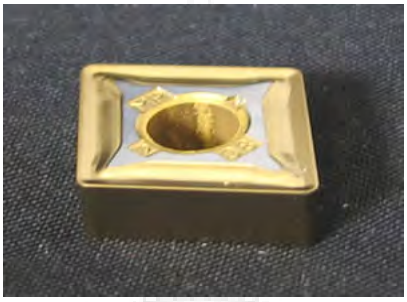
วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัดจึงต้องมีคุณสมบัติที่แข็งและเหนียว โดยวัสดุเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มดังนี้

1. High carbon steelเหล็กกล้า carbon เป็นวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้กันมาเป็นหลายร้อยปี หากจะระบุให้ชัดเจนขึ้นก็คือเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูง high-carbon steel ซึ่งจะมีส่วนผสม carbon ประมาณ 1.05% โดยปริมาณ carbon ที่สูงนี้จะช่วยในเรื่องความสามารถในการอบชุบแข็งได้ดี มีคุณสมบัติในการต้านการสึกหรอได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก plain high carbon steel นี้จะถูก tempered ได้โดยง่ายเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก (ประมาณ 150 ถึง 260C) เป็นผลให้ความแข็งของตัววัสดุลดลง high carbon steel จึงนิยมใช้เป็นวัสดุตัดสำหรับกระบวนการตัดที่ไม่ก่อให้เกิดความร้อนในระหว่างการตัดมากนัก เช่น ผลิตเป็นใบเลื่อย

2. High Speed Tool Steelเหล็กกล้าเครื่องมือประเภทนี้สามารถใช้กับงานตัดที่มีความเร็วในการตัดที่สูง และยังคงความแข็งที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่า plain high carbon steel ความแตกต่างหลักๆ ของ HSS และ plain high carbon steel ก็คือ HSS จะมีการเติมธาตุ alloy ต่างๆ เข้าไปด้วยเพื่อเสริมความแข็งและความแข็งแรง การสามารถในการต้านการสึกหรอ รวมไปถึงคุณสมบัติ hot hardness โดย alloying elements ส่วนใหญ่จะเป็น Mn Cr W V Mo Co Nbเป็นต้น โดยธาตุเหล่านี้จะเติมลงไปเพื่อเสริมคุณสมบัติเฉพาะด้าน ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดธาตุHSS ส่วนใหญ่ที่ถูกใช้เป็นเครื่องมือตัดจะอยู่ในเกรด M และ T โดย M มาจาก Molybdenum และ T มาจาก Tungsten ความแตกต่างของ HSS ทั้งสองแบบนี้คือปริมาณส่วนผสมของ Mo จะมีมากเป็นพิเศษในเกรด M และ W ในเกรด T ซึ่งแน่นอนว่าลักษณะงานที่จะนำไปใช้ก็แตกต่างกันด้วยHSS บางส่วนผลิตจากกรรมวิธีวัสดุผง ซึ่งจะต่างไปจากกระบวนการผลิต HSS แบบทั่วไปที่ใช้การหล่อเป็น ingot จากนั้นผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อน หรือเย็นเพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการ สำหรับกระบวนการ powder metal นั้น โดยชื่อก็สามารถรู้ได้โดยคร่าวๆแล้วว่าการผลิตจะใช้การผสมผงวัสดุที่ต้องการขึ้นรูปเป็นเครื่องมือตัดเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการอัดเข้าแบบภายใช้ความดันและอุณหภูมิสูงเพื่อให้ผงวัสดุหลอมติดกันนอกจากนี้ การพัฒนาด้านการเคลือบผิววัสดุยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือตัดได้เป็นอย่างดีอีกด้วย เช่นการเคลือบผิว HSS ด้วย TiNโดยใช้กระบวนการ physical vapor deposition (PVD) TiNจะถูกเคลือบอยู่บนผิวเครื่องมือตัด ด้วยวิธีการเคลือบผิวเช่นนี้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะไม่สูงมากนัก ซึ่งไม่กระทบต่อโครงสร้างของวัสดุและความแข็งที่อาจเปลี่ยนไป เครื่องมือตัดที่ได้รับการเคลือบผิวที่เหมาะสมจะทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า หรือความเร็วในการตัดสามารถเพิ่มขึ้นได้กว่า 50%

3. Cast Alloysวัสดุในกลุ่มนี้จะเน้นไปที่ธาตุในกลุ่มของ Co Cr W เพื่อเพิ่มความสามารถในการตัดเฉือน โดย cast alloys จะไม่มีส่วนผสมของเหล็กอยู่ในวัสดุ ส่วนผสมทางเคมีโดยทั่วไปจะมี 45%Co 32%Cr 21%W และ 2%C ซึ่งจะช่วยให้เครื่องมือตัดมีคุณสมบัติ hot hardness ได้ดีกว่า HSS ทั่วไปมาก อย่างไรก็ตาม cast alloy มักจะมีความเปราะมาก การยึดจับมีดตัดต้องทำอย่างเหมาะสม เนื่องจาก cast alloys มีคุณสมบัติในการต้านการสึกหรอแบบ abrasion สูงมาก จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการตัดวัสดุที่มีความไม่ต่อเนื่องในเนื้อวัสดุมาก หรือที่มี hard inclusion อยู่ในเนื้อวัสดุ

4. Cemented Tungsten CarbideHenri Moissan คันพบ tungsten carbide ในปี 1893 ในระหว่างที่กำลังหาวิธีการผลิตเพชรสังเคราะห์ โดยการผสม sugar และ tungsten oxide และหลอมเข้าด้วยกันด้วยเตา arc furnace ปริมาณ carbon ที่มีมากใน sugar ช่วยลดการเกิด oxide และเพิ่ม carbon ให้กับตัว tungsten เกิดเป็น tungsten carbide (WC) Moissan พบว่า WC ที่ได้มีความแข็งมาก ซึ่งมากกว่า sapphire แต่ก็มีความเปราะอยู่มากเช่นกัน ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญหากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม WC ที่ผลิตออกมาเพื่อการค้าได้ออกสู่ตลาดในเยอรมันในปี 1926 โดยมีส่วนผสม Co ประมาณ 6% และเริ่มมีการผลิตขายในสหรัฐฯ และแคนาดาในปี 1928 และ 1930 ตามลำดับ



ในปัจจุบันนี้ วัสดุในกลุ่มของ hard carbides ที่นิยมใช้คือ WC ที่ใช้ Co เป็นตัวประสาน โดย carbides พวกนี้จะมีความสามารถในการตัดวัสดุประเภท เหล็กหล่อ วัสดุนอกกลุ่มเหล็ก และ อโลหะ แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตัดวัสดุกลุ่มเหล็กกล้าการพัฒนาที่สำคัญของ hard carbides มาจากการปรับปรุงวิธีการดั้งเดิมโดยการใช้ carbines ประเภทอื่นๆ แทน WC เช่น TiCTaCด้วยหลักการนี้ จึงนำไปสู่การพัฒนา multi-carbide cutting tool ซึ่งช่วยให้การตัดเฉือนวัสดุในกลุ่มเหล็กกล้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น

โครงสร้างจุลภาคของ WC

คำว่า “tungsten carbide” อาจหมายถึงวัสดุประเภท hard carbide ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน มาผสมกันเพื่อใช้ในการตัดโลหะ หรือใช้ในชิ้นส่วนที่ต้องทนต่อการสึกหรอ โดยทั่วไป วัสดุเหล่านี้จะประกอบไปด้วย WC TiCTaCหรือสาระประกอบอื่นๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผงเป็นกรรมวิธีในการผลิต ซึ่งเริ่มจากการผสมผงวัสดุเข้าด้วยกัน และเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ ในขั้นตอนการผสมจะเติม Co เข้าไปด้วย ระยะเวลาในการผสมกันอาจจะหลายวันเพื่อให้แน่ใจว่าผงวัสดุต่างๆ จะผสมเข้ากันเป็นอย่างดี จากนั้นจะนำไปอัดลงในแม่พิมพ์ซึ่งมีการเผื่อขนาดสำหรับการหดตัวของวัสดุด้วย ในขั้นตอนนี้ วัสดุจะดูอัดแบบ cold compacting ภายใต้ความดันสูงราว 30,000 psi ต่อจากนั้นจะเป็นการทำ hot pressing เพื่อให้วัสดุผงหลอมติดกันแบบบางส่วน ภายหลังเย็นตัวแล้วจะได้ชิ้นงานที่มีรูปทรงตามต้องการ สำหรับชิ้นส่วนขนาดใหญ่ มักจะนำไปอัดภายใต้ของเหลวแรงดันสูงอีกครั้งหนึ่งแบบ isostatic pressing เพื่อให้มั่นใจว่าผงวัสดุจะถูกอัดตัวเข้าใกล้กันมากที่สุดกระบวนการต่อมาที่สำคัญคือการทำ sintering โดยชิ้นงานจะถูกอบภายใต้บรรยากาศ hydrogen หรือสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 1370 ถึง 1600C ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของชิ้นงาน ระยะเวลาในการอบและอุณหภูมิจะถูกควบคุมอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้

คุณภาพของชิ้นงานที่ดีที่สุด การหดตัวของชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ 16% สำหรับ linear dimensions หรือประมาณ 40% โดยปริมาตร การหดตัวจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายด้าน เช่นขนาด particles ส่วนผสมและรอบการเย็นตัว การหดตัวจะพบมากขึ้นโดยเฉพาะชิ้นงานที่มีส่วนผสมของ Co อยู่ในปริมาณมาก

รูปทรงต่างๆ ของเม็ดมีด WCการแบ่งเกรดของ Carbide Tools สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

1. Wear Gradesนิยมใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เครื่องมือตัด หรืองานอื่นๆ ที่ต้องการความสามารถในการต้านการสึกหรอ

2. Impact Gradesนิยมใช้ทำเครื่องมือให้อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป รวมไปถึงหัวเจาะสำหรับเครื่องมือในอุตสาหกรรมเหมืองแร่

3. Cutting Tool Gradesเครื่องมือตัดที่ใช้cemented carbides นี้จะแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ สำหรับงานตัดวัสดุเปราะ และเครื่องมือสำหรับตัดวัสดุเหนียว เครื่องมือตัดสำหรับงานในกลุ่มวัสดุเปราะจะต้องมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้ดี ในขณะที่การตัดวัสดุเหนียวจะเน้นไปที่ hot hardness เป็นหลัก

2.12 ทฤษฎีเกี่ยวกับความหยาบผิว

ความหยาบผิว (Roughness) นั้นประกอบด้วยความไม่สม่ำเสมอของผิวชิ้นงาน ซึ่งส่วนใหญ่รูปแบบของรอยที่เกิดจะเกิดจากอัตราการป้อนของเครื่องมือตัดความสูงหรือความลึกของร่องรอยความไม่สม่ำเสมอเป็นค่าที่ได้จากการวัด

2.12.1 คุณภาพผิวงาน (Quality of machine Surfaces)

การขึ้นรูปโดยการตัดเฉือนเพื่อให้ได้รูปแบบชิ้นงานที่ต้องการ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยและผลที่จะเกิดขึ้นกับงานที่ทำสำเร็จ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นหลังการตัดเฉือนอย่างหนึ่งคือ คุณภาพผิวงาน โดยปกติของการผลิตทั่วๆไปมักจะต้องการงานที่มีคุณภาพผิวที่ดี เนื่องจากชิ้นงานที่มีคุณภาพผิวที่ดี จะมีผลต่อความสวยงามเมื่อมีการประกอบชิ้นส่วน และต่อความเสียดทานเมื่อต้องมีการเคลื่อนที่ของ

ชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน ลักษณะทั่วไปของผิวงานที่ผ่านการแปรรูปและผ่านการตัดเฉือนรวมทั้งองค์ประกอบหลักๆของสภาพผิวงาน

1. ผิวงาน (Surface) หมายถึง ขอบเขตหรือบริเวณที่แยกออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงาน ระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specifications)

2. รูปทรงผิว (Profile) หมายถึง เส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

3. ความหยาบผิว (Roughness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือนอันเนื่องมาจากคมตัดของมีดและอัตราป้อน

4. คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการโก่งตัวของชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการตัดเฉือน

5. ฟลอ (flow) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่น รอยขีดข่วน รอยแตก รูพรุน เป็นต้น

6. เลย์ (Lay) หมายถึง แนวทิศทางของรอยสันส่วนยอดความหยาบของผิวที่ตรวจสอบ

2.12.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อความเรียบผิวงาน

คุณภาพผิวงานที่จะทำการตัดเฉือนกำหนดไว้ว่าต้องการให้ผิวงานที่ได้มีลักษณะอย่างไรจึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงของเครื่องจักร และความเที่ยงตรงของวัสดุรองลื่น (Bearing)
2. คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการตัดเฉือนเป็นผิวสำเร็จของวัสดุงาน
3. ชนิด ประเภท และลักษณะของวัสดุมีด
4. การเลือกใช้วัสดุน้ำมันตัดเฉือน
5. ลักษณะของการเกิดเศษ
6. มุมมีดที่ใช้
7. ตัวแปรที่ใช้ในการตัดเฉือน

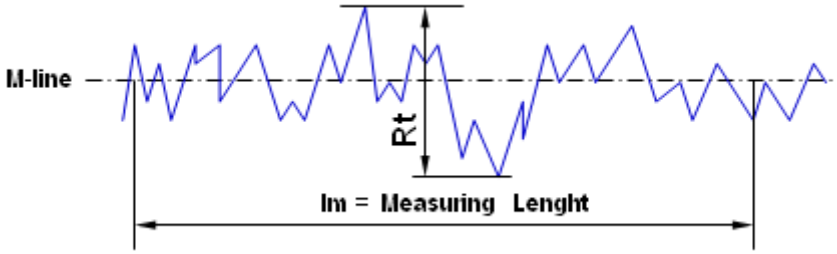
2.12.3 วิธีการของการวัดความเรียบของผิว

วิธีการที่สามารถใช้ได้ผลสำหรับการวัดความเรียบของผิวชิ้นงานที่ผ่านการตกแต่งมาอาจจะใช้วิธีการเปรียบเทียบหรือใช้วิธีวัดโดยตรง วิธีการเปรียบเทียบนี้เป็นวิธีการทจะตรวจสอบความหยาบ , ละเอียดของผิว โดยการสังเกตหรือใช้ความรู้สึกบนผิวหน้าที่จะทำการตรวจสอบนั้น และการเปรียบเทียบนี้ก็อาจจะทำให้เกิดการอ่านผิดขึ้นได้ถ้าการเปรียบเทียบไม่ได้ใช้ชิ้นงานที่ทำหรือผลิตด้วยเทคนิคเดียวกัน รอยที่ปรากฏขึ้นบนพื้นผิวหน้าจะขึ้นอยู่กับแบบของเครื่องมือที่

ใช้ในทิศทางของการขัดข่วนหรือตกแต่งผิวหน้า และขึ้นกับความลึกของรอยที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งรอยที่ปรากฏเหล่านี้สามารถที่จะตรวจสอบได้โดยการใช้กล้องส่องขยายดู การแตะสัมผัสเป็นวิธีที่ให้ผลดีในการกำหนดความหยาบ , ละเอียดของผิว มากกว่าการสังเกตด้วยตาซึ่งอาจทำให้อ่านค่าผิดพลาดได้ และการเปรียบเทียบควรจะใช้กับผิวหน้าที่มีการผลิตเหมือนกันเท่านั้น ซึ่งก็ได้มีหลายบริษัทที่ได้สร้างชิ้นส่วนมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบความเรียบของผิวในแต่ละวิธีการผลิตหลายๆอย่าง ซึ่งเราสามารถที่จะเลือกใช้ทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวก

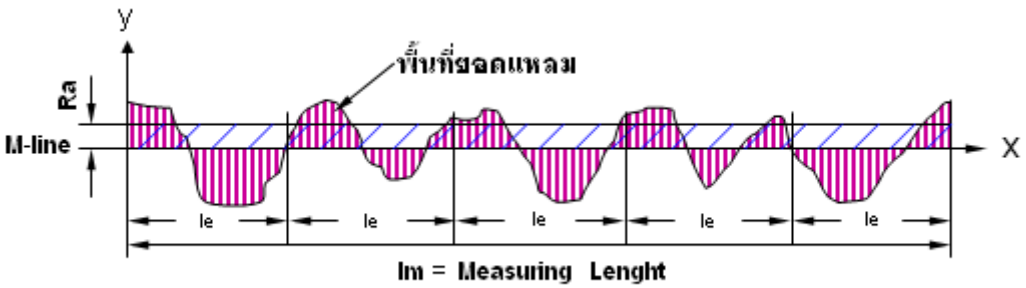
การวัดค่าความหยาบผิวสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

2.12.3.1 ค่าความหยาบผิว Rt ได้จากการวัดระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของผิวงาน กับ จุดต่ำสุดของผิวงาน มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) ภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-6 แสดงการวัดค่าความหยาบผิว Rt

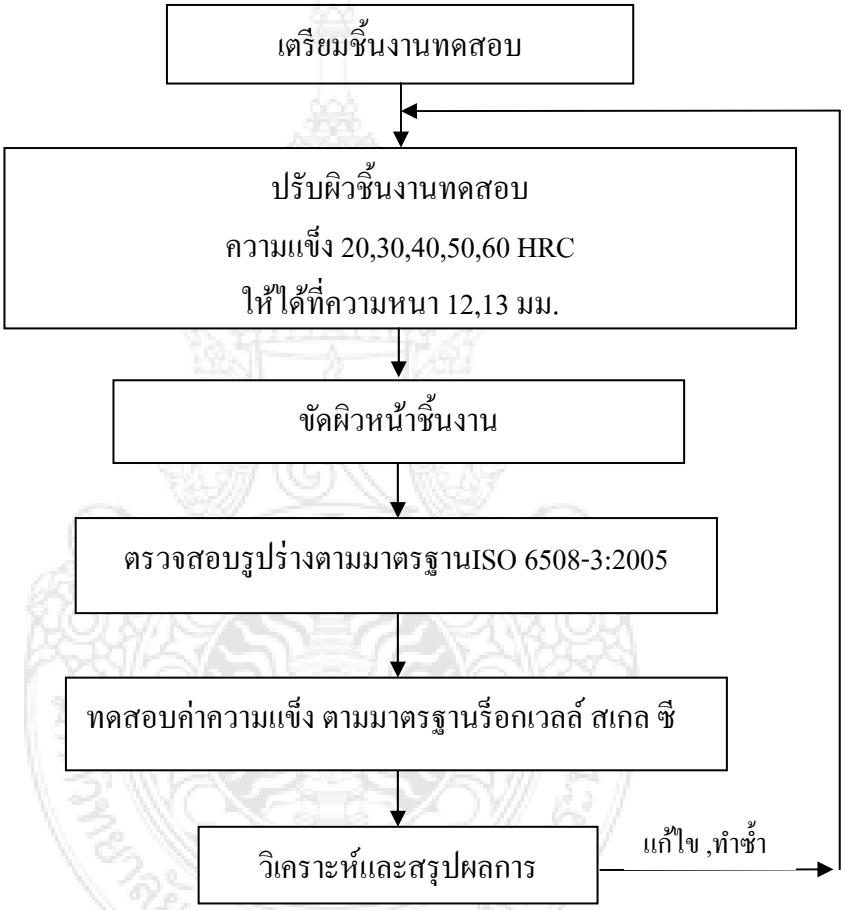
2.12.3.2 ค่าความหยาบผิว Ra หรือเรียกว่า ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมเหนือเส้นกึ่งกลาง กับพื้นที่หลุมได้เส้นกึ่งกลางแล้วหารด้วยความยาว lm มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) ภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-7 แสดงการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)

บทที่ 3
วิธีการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

จากการเลือกแท่งอ้างอิงทางความแข็งมาใช้ในงานวิจัย จะมุ่งเน้นไปยังผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ เพื่อให้มีผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ในการตัดสินใจจึงเลือกผลิตภัณฑ์จากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งทางสำนักงานมาตรวิทยาเป็นผู้รับรองและจัดจำหน่าย



ภาพที่ 3-1 แสดงวิธีการและลำดับขั้นตอนการวิจัย

ภาพที่ 3- 2 วิธีการและลำดับขั้นตอนการวิจัย

3.1 ขั้นตอนและการดำเนินงาน

การวิจัยจะแบ่งลักษณะการทดลอง โดยกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอนใหญ่ ได้แก่

3.1.1 การเลือกแท่งอ้างอิงมาตรฐาน เลือกผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ในการตัดสินใจจึงเลือกผลิตภัณฑ์จากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งทางสำนักงานมาตรวิทยาเป็นผู้รับรองและจัดจำหน่าย

โดยแท่งอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มม. และมีความหนา 15 มม.มีความแข็ง 5 ระดับ ได้แก่ 20,30,40,50,60 HRC ความแข็งละ 2 แท่ง

3.1.2 ปรับผิวชิ้นงานทดสอบ โดยการวิจัยต้องการตัดเฉือนผิวหน้าแท่งอ้างอิงมาตรฐานจากความหนาเดิม 15 มม. ให้เหลือ 12 และ 13 มม.

3.1.3 ขัดผิวหน้าชิ้นงาน หลังจากปรับผิวชิ้นงานทดสอบได้ตามความหนาที่ต้องการและเพื่อให้ได้ความหยาบผิวตามมาตรฐาน ต้องขัดละเอียดผิวชิ้นงาน จะขัดด้วยกระดาษทรายและสักหลาด โดยเริ่มจากกระดาษทรายหยาบ และเพิ่มความละเอียดขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เบอร์ 320 , 600 , และ1,200 แล้วขัดด้วยสักหลาด โดยใช้ผงอลูมินา ขนาด 0.05 μm. ร่วมด้วยในการขัด

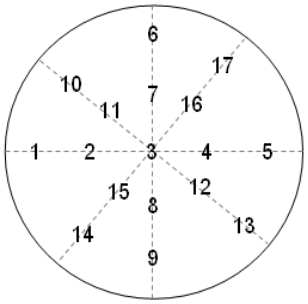
3.1.4 ตรวจสอบขนาดแท่งอ้างอิงทางความแข็งที่ได้ทำการจัดทำ ตามมาตรฐานISO 6508-3:2005

3.1.4.1 ทดสอบความราบผิว(Flatness) ด้านบนโดยใช้เครื่อง Coordinate Measurement Machine (CMM) ทำการวัดจำนวน 17 จุด

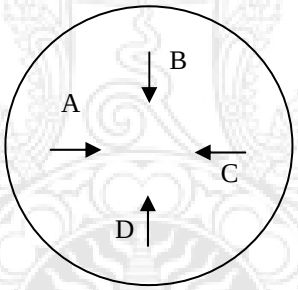
3.1.4.2 ทดสอบความขนาน โดยใช้ ไมโครมิเตอร์ วัดนอก (Outside Micrometer) ความ

ละเอียด 0.001 มม. ทำการวัดอ้างอิงกับผิวด้านบนจำนวน 17 จุด

3.1.4.3 ทดสอบความหยาบผิวโดยใช้ เครื่องวัดความ หยาบผิว (Measure Surface roughness) ขนาดหัววัด 0.025 mm ทำการวัดจากด้านนอกเข้าหาจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน ชิ้นละ 4 จุด ระยะความยาวการวัด 4 มม. ความเร็วในการวัด 0.5 มม. ต่อวินาที



ภาพที่ 3 - 3 แสดงตำแหน่งการวัดความราบผิวและความขนานชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ 3 - 4 แสดงตำแหน่งและทิศทางการวัดความหยาบผิว

3.1.5 ทดสอบหาค่าความแข็งโดยใช้เครื่อง Rockwell Hardness Testing ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยการวัดค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์ สเกลซี (Rockwell Hardness Testing) ทำการวัดความแข็งที่ผิวหน้าของชิ้นทดสอบ ในการทดสอบความแข็ง นำผลจากการทดสอบที่ได้มารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด เพื่อนำมาเปรียบเทียบและทำการวิเคราะห์ โดยการทดสอบค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์สเกลซี (Rockwell Hardness Scale C)

3.1.6 วิเคราะห์และสรุปผล นำผลจากการทดสอบที่ได้ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานISO 6508-3:2005 และทำการวิเคราะห์ เพื่อสรุปผลการวิจัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

3.2.1 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ สเกลซี

3.2.2 เครื่องกลึง CNC ความเร็วสูง

3.2.3 เครื่องวัดความหยาบผิว ขนาดหัววัด 0.025 mm

3.2.4 เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) ขนาด Prob เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm

3.2.5 ไมโครมิเตอร์วัดนอก (Outside Micrometer) ค่า Resolution 0.001 mm.

3.2.6 เครื่องขัดกระดาษทราย และ สักหลาด

3.2.7 กระดาษทราย เบอร์ 320 , 600 , 1,200

3.2.8 ผงอลูมิน่า ขนาด 0.05 μm.

3.2.9 แท่งอ้างอิงทางความแข็งขนาดความแข็ง 20,30,40,50,60 HRC

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในการศึกษาโดยใช้แท่งอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มม. และมีความหนา 15 มม.มีความแข็ง 5 ระดับ ได้แก่ 20,30,40,50,60 HRC ความแข็งละ 2 แท่ง

4.1 ผลการวัดขนาดรูปร่างแท่งอ้างอิงทางความแข็ง

4.1.1 ความราบผิว(Flatness) ด้านบนได้ผลการวัดอยู่ระหว่าง 0.003 - 0.009 มม. อยู่ในมาตรฐานคือไม่เกิน 0.01 มม.

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการวัดค่าความราบผิวแท่งอ้างอิงทางความแข็ง

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ความหนา(มม.)	ค่าความราบผิว (มม.)
1	B12262	20 HRC	12	0.000004
2	B12263	20 HRC	13	0.000004
3	48747	30 HRC	12	0.000004
4	48748	30 HRC	13	0.000004
5	C15428	40 HRC	12	0.000005
6	C15429	40 HRC	13	0.000004
7	B17371	50 HRC	12	0.000004
8	B17372	50 HRC	13	0.000002
9	A29621	60 HRC	12	0.000003
10	A29622	60 HRC	13	0.000005

4.1.2 ความขนานระหว่างผิวชิ้นงานทดสอบด้านบนกับด้านล่าง ได้ผลวัดอยู่ระหว่าง 0.005 – 0.011 มม. อยู่ในมาตรฐานคือไม่เกิน 0.02 มม.

ตารางที่ 4-2 ผลการวัดค่าความขนานแท่งอ้างอิงทางความแข็ง

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ความหนา(มม.)	ค่าความขนานผิว
1	B12262	20 HRC	12	0.000011
2	B12263	20 HRC	13	0.000020
3	48747	30 HRC	12	0.000011
4	48748	30 HRC	13	0.000011
5	C15428	40 HRC	12	0.000006
6	C15429	40 HRC	13	0.000008
7	B17371	50 HRC	12	0.000009
8	B17372	50 HRC	13	0.000010
9	A29621	60 HRC	12	0.000011
10	A29622	60 HRC	13	0.000012

4.1.3 ความหยาบผิว (Surface roughness) ด้านบนได้ผลการวัดอยู่ระหว่าง 0.00004 -0.00009 มม. อยู่ในมาตรฐานคือไม่เกิน 0.0003 มม.

ตารางที่ 4-3 ผลการวัดค่าความหยาบผิว (Ra)แท่งอ้างอิงทางความแข็ง

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ค่าความหยาบผิว			เฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	B12262	20 HRC	0.00002	0.00004	0.00003	0.00003
2	B12263	20 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
3	48747	30 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
4	48748	30 HRC	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002
5	C15428	40 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
6	C15429	40 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
7	B17371	50 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
8	B17372	50 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
9	A29621	60 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
10	A29622	60 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003

4.2 ผลการทดสอบการวัดค่าความแข็ง

ผลการวัดค่าความแข็งของแท่งอ้างอิงทางความแข็งที่ตัดเฉือนผิวหน้าออกและปรับผิวหน้าใหม่

ตารางที่ 4-4 แสดงผลค่าความแข็งที่ได้จากกระบวนการวิจัย

ลำดับที่	Serial Number	ความแข็ง	ค่าความแข็งในการวัดแต่ละครั้ง										ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย (Max - Min)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	B12262	20 HRC	24.4	24.9	24.7	24.8	24.5	24.4	24.3	24.9	24.6	24.4	24.59	0.6
2	B12263	20 HRC	24.2	25.1	25	25	25.1	24.2	24.7	24.7	24.2	24.4	24.66	0.9
3	48747	30 HRC	33.6	33.7	33.3	33.6	33.7	33	33.2	33.3	33.5	33.1	33.4	0.7
4	48748	30 HRC	33	33.1	33	33.3	33.3	32.6	33.2	32.7	32.7	32.4	32.93	0.9
5	C15428	40 HRC	41.2	40.9	40.9	41.2	41	41	41.6	41.3	41.3	41.4	41.18	0.7
6	C15429	40 HRC	40.8	41	41	41.3	41.4	41.6	41.4	41.5	41.5	41.4	41.29	0.8
7	B17371	50 HRC	48.4	49.1	48.7	48.8	48.7	49.1	49.3	49.1	49.2	49.1	48.95	0.9
8	B17372	50 HRC	48.5	48.7	48.7	48.4	48.5	48.6	48.8	48.5	48.2	49	48.59	0.8
9	A29621	60 HRC	56.7	56.9	57	57.3	57	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2	57.09	0.6
10	A29622	60 HRC	56.4	56.9	56.9	56.9	56.8	56.7	56.8	57	57	57	56.84	0.6

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองการศึกษาการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่หน่วยร็อคเวลล์ลเกล ซี โดยใช้แท่งอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มม. และมีความหนา 15 มม. มีความแข็ง 5 ระดับ ได้แก่ 20,30,40,50,60 HRC ความแข็งละ 2 แท่ง สรุปได้ว่า

แท่งอ้างอิงทางความแข็งที่ได้นำมาทดลองเพื่อจะนำกลับมาใช้ใหม่หลังจากการใช้งานเต็มผิวหน้าได้ค่าความแข็งเฉลี่ยในแต่ละระดับความแข็งใกล้เคียงความแข็งเดิม และ มีค่าพิสัย (Range) อยู่ในมาตรฐาน

ตารางที่ 5-1 แสดงผลค่าความแข็งเปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ค่าความแข็งเฉลี่ย	
			ก่อน	หลัง
1	B12262	20 HRC	23.29	24.59
2	B12263	20 HRC	23.26	24.71
3	48747	30 HRC	32.61	33.4
4	48748	30 HRC	32.33	32.95
5	C15428	40 HRC	42.33	41.18
6	C15429	40 HRC	42.15	41.33
7	B17371	50 HRC	51.45	48.95
8	B17372	50 HRC	51.24	48.59
9	A29621	60 HRC	60.02	57.09
10	A29622	60 HRC	60.10	56.84

ตารางที่ 5-2 แสดงผลพิสัย(Range)ของค่าความแข็งที่ได้เปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ค่าพิสัย	
			ก่อน	หลัง
1	B12262	20 HRC	0.8	0.6
2	B12263	20 HRC	0.8	0.9
3	48747	30 HRC	0.8	0.7
4	48748	30 HRC	0.5	0.9
5	C15428	40 HRC	0.5	0.7
6	C15429	40 HRC	0.9	0.8
7	B17371	50 HRC	0.9	0.9
8	B17372	50 HRC	0.9	0.8
9	A29621	60 HRC	0.7	0.6
10	A29622	60 HRC	0.9	0.6

จากการที่ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของค่าความแข็งไว้ 5 ระดับ ได้แก่ 20,30,40,50,60 HRC ผลการวัดรูปร่างสรุปได้ว่าสามารถควบคุมรูปร่างและส่วนขนาดของแท่งอ้างอิงทางความแข็งหน่วยร็อคเวลล์เกลซี ให้อยู่ในมาตรฐาน ISO 6508-3:2005 และแท่งอ้างอิงทางความแข็งที่เลือกมาใช้ในการทดลองสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตามกระบวนการที่ได้วิจัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยการศึกษาการนำแท่งอ้างอิงทางความแข็งนำกลับมาใช้ใหม่หน่วยร็อคเวลล์เกล ซี ตามมาตรฐาน ISO 6508-3 : 2005 ซึ่งผลจากการวิจัยตามเงื่อนไขและกระบวนการทดลองที่ได้กำหนดไว้ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตามกระบวนการที่ได้วิจัยแต่จะได้ค่าความแข็งแตกต่างจากค่าความแข็งเดิมเล็กน้อย และอยู่ในมาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

Jib b 7730: 1997, Rockwell Hardness test-Calibration of reference blocks.

NIS 0406: 1993, Accreditation for the Calibration and verification of Hardness testing Equipment.

ISO 6508-1: 1999 (E), Metallic material-Rockwell herdness test-part 1 test method.

ISO 6508-2: 1999 (E), Metallic material-Rockwell herdness test-part 2 Verification and Calibration of testing machine.

ISO 6508-3: 1999 (E), Metallic material-Rockwell herdness test-part 3 Calibration of reference blocks.

ISO 6508-3: 2005 (E), Metallic material-Rockwell herdness test-part 3 Calibration of reference blocks.

B.S. 891: past 2: 1964, Method for Rockwell hardness test Verification testing machine.

J.L. Nascimento , F.S. Pires , A.C. Rocha The Influence of microstructure Homogeneity 0n The uniformity of hardness standard block: Caminha National Institute of technologe Brazil

OIML. “The unification of hardness measurement”, 1991, Bureau International de metrologies legale 11, rue Turgot-75009 Paris-France.

สมนึก วัฒนศรียกุล. หลักการทดสอบวัสดุ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

สมนึก วัฒนศรียกุล. โลหะวิทยา. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2538.

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541

มนัส สถิรจินดา. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2538.

ภาคผนวก ก

ผลการวัดค่ารูปร่างแท่งอ้างอิงมาตรฐาน

ตารางที่ ก 2-1 รูปร่างและส่วนขนาดของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง ร็อกเวลล์

ความหนา(ผลิตจากเหล็ก)	ไม่น้อยกว่า 12 mm.และไม่เกิน 16 mm.
ความราบของผิวบน (Flatness)	ไม่เกินกว่า 0.01 mm.
ความขนาน (เทียบกับพื้นผิวด้านล่าง)	ไม่เกินกว่า 0.02 / 50 mm.
ความหยาบผิว (ผิวด้านบน)	ไม่เกินกว่า 0.0003 mm. *R*a
ความหยาบผิว (ผิวด้านล่าง)	ไม่เกินกว่า 0.0008 mm. *R*a

จากมาตรฐาน ISO6508-3:2005

ตารางที่ ก 2-2 แสดงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องทดสอบความแข็ง (Permissible Repeatability and Error of the Testing Machine)

Rockwell hardness Scale	Hardness range of Reference block	Permissible Error Rockwell Units	Permissible Repeatability of th Testing machine
A	20 HRA to ≤ 75 HRA >75 HRA to ≤ 88 HRA	±2 HRA ±1.5 HRA	≤ 0.02 (100-H) or 0.8 Rockwell unit
B	20 HRB to ≤ 45 HRB >45 HRB to ≤ 80 HRB >80 HRB to ≤ 100 HRB	±HRB ±3 HRB ±2 HRB	≤ 0.04 (130-H) or 1.2 Rockwell unit
C	20 HRC to ≤ 75 HRC	±1.5 HRC	≤ 0.02 (100-H) or 0.8 Rockwell unit

ตามมาตรฐาน ISO 6508-2 : 1999(E) [4]

ตารางที่ ก 2-3 แสดงระดับค่าความแข็งของแท่งอ้างอิงทางความแข็ง (Rockwell)

จากมาตรฐาน ISO6508-2: 1999(E) [3,4,5]

Rockwell hardness scale	Hardness range of reference block
A	20HRA to 40 HRA 45HRA to 75 HRA 80HRA to 88 HRA
B	20HRB to 50 HRB 60HRB to 80 HRB 85HRB to 100 HRB
C	20HRC to 30 HRC 35HRC to 55 HRC 60HRC to 70 HRC

ตารางที่ ก 4-1 แสดงผลการวัดค่าความราบผิวแท่งอ้างอิงทางความแข็ง

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ความหนา(มม.)	ค่าความราบผิว (มม.)
1	B12262	20 HRC	12	0.000004
2	B12263	20 HRC	13	0.000004
3	48747	30 HRC	12	0.000004
4	48748	30 HRC	13	0.000004
5	C15428	40 HRC	12	0.000005
6	C15429	40 HRC	13	0.000004
7	B17371	50 HRC	12	0.000004
8	B17372	50 HRC	13	0.000002
9	A29621	60 HRC	12	0.000003
10	A29622	60 HRC	13	0.000005

ตารางที่ ก 4-2 ผลการวัดค่าความขนานแท่งอ้างอิงทางความแข็ง

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ความหนา(มม.)	ค่าความขนานผิว
1	B12262	20 HRC	12	0.000011
2	B12263	20 HRC	13	0.000020
3	48747	30 HRC	12	0.000011
4	48748	30 HRC	13	0.000011
5	C15428	40 HRC	12	0.000006
6	C15429	40 HRC	13	0.000008
7	B17371	50 HRC	12	0.000009
8	B17372	50 HRC	13	0.000010
9	A29621	60 HRC	12	0.000011
10	A29622	60 HRC	13	0.000012

ตารางที่ ก 4-3 ผลการวัดค่าความหยาบผิว (Ra)แท่งอ้างอิงทางความแข็ง

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ค่าความหยาบผิว			เฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	B12262	20 HRC	0.00002	0.00004	0.00003	0.00003
2	B12263	20 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
3	48747	30 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
4	48748	30 HRC	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002
5	C15428	40 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
6	C15429	40 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
7	B17371	50 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
8	B17372	50 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
9	A29621	60 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
10	A29622	60 HRC	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003

ตารางที่ ก 4-4 แสดงผลค่าความแข็งที่ได้จากกระบวนการวิจัย

ลำดับที่	Serial Number	ความแข็ง	ค่าความแข็งในการวัดแต่ละครั้ง										ค่าเฉลี่ย	ค่าพิสัย (Max - Min)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	B12262	20 HRC	24.4	24.9	24.7	24.8	24.5	24.4	24.3	24.9	24.6	24.4	24.59	0.6
2	B12263	20 HRC	24.2	25.1	25	25	25.1	24.2	24.7	24.7	24.2	24.4	24.66	0.9
3	48747	30 HRC	33.6	33.7	33.3	33.6	33.7	33	33.2	33.3	33.5	33.1	33.4	0.7
4	48748	30 HRC	33	33.1	33	33.3	33.3	32.6	33.2	32.7	32.7	32.4	32.93	0.9
5	C15428	40 HRC	41.2	40.9	40.9	41.2	41	41	41.6	41.3	41.3	41.4	41.18	0.7
6	C15429	40 HRC	40.8	41	41	41.3	41.4	41.6	41.4	41.5	41.5	41.4	41.29	0.8
7	B17371	50 HRC	48.4	49.1	48.7	48.8	48.7	49.1	49.3	49.1	49.2	49.1	48.95	0.9
8	B17372	50 HRC	48.5	48.7	48.7	48.4	48.5	48.6	48.8	48.5	48.2	49	48.59	0.8
9	A29621	60 HRC	56.7	56.9	57	57.3	57	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2	57.09	0.6
10	A29622	60 HRC	56.4	56.9	56.9	56.9	56.8	56.7	56.8	57	57	57	56.84	0.6

ตารางที่ ก 5-1 แสดงผลค่าความแข็งเปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ค่าความแข็งเฉลี่ย	
			ก่อน	หลัง
1	B12262	20 HRC	23.29	24.59
2	B12263	20 HRC	23.26	24.71
3	48747	30 HRC	32.61	33.4
4	48748	30 HRC	32.33	32.95
5	C15428	40 HRC	42.33	41.18
6	C15429	40 HRC	42.15	41.33
7	B17371	50 HRC	51.45	48.95
8	B17372	50 HRC	51.24	48.59
9	A29621	60 HRC	60.02	57.09
10	A29622	60 HRC	60.10	56.84

ตารางที่ ก 5-2 แสดงผลพิสัย(Range)ของค่าความแข็งที่ได้เปรียบเทียบก่อนและหลังกระบวนการ

ลำดับที่	Serial Number	ค่าความแข็ง	ค่าพิสัย (Max - Min)	
			ก่อน	หลัง
1	B12262	20 HRC	0.8	0.6
2	B12263	20 HRC	0.8	0.9
3	48747	30 HRC	0.8	0.7
4	48748	30 HRC	0.5	0.9
5	C15428	40 HRC	0.5	0.7
6	C15429	40 HRC	0.9	0.8
7	B17371	50 HRC	0.9	0.9
8	B17372	50 HRC	0.9	0.8
9	A29621	60 HRC	0.7	0.6
10	A29622	60 HRC	0.9	0.6

ภาคผนวก ข

เอกสารรับรองมาตรฐาน

National Institute of Metrology (Thailand)
Ministry of Science and Technology

Certificate of Calibration

Certificate No. : MHR-IN0016-08
Issued by : Hardness Laboratory
Mechanical Metrology Department Page 1 of 5 pages

Object : Hardness testing machine, Rockwell scale A, B and C

Manufacturer : Mittutoyo

Model of machine : ATK-600

S/N. of machine : 50425

S/N. of indenter : NA49773

Customer : Heat Treatment Technology Unit
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
1518 Pibulsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800

Date of Calibration : May 8, 2008

The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95%.

Reference	*Date*	*Authorized Signatory*	*Person in charge*
CSR No.-	May 8, 2008	(Veera Tulasombut)	(Apichaya Meesaplak)

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the Director of National Institute of Metrology (Thailand).

National Institute of Metrology (Thailand), 3/5 Moo 3, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand
Telephone (66) 2577-5100, Fax (66) 2577-3658

ภาพที่ ข-1 เอกสารรับรองการตรวจประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็ง โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ประวัติผู้วิจัย

<u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

1. ชื่อ – นามสกุล นายประสิทธิ์ แพงเพชร

Mr. Prasit Phangphet

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5 6505 90009 17 1

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทร. 0-2913-2424 ต่อ 141 , มือถือ 083-890 9305

E-Mail : p_sitnbk@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ

วศ.ม. การจัดการอุตสาหกรรม

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)

6.1 การวัดและตรวจสอบ ขนาด รูปร่าง

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาภายในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี

7.3 งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ : ไม่มี

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นายสุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์

Mr. Sutthipong Jumroonrut

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 44299 00001 65 5

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทร. 0-2913-2424 ต่อ 171 , มือถือ 081-441 9089

E-Mail : Suttipong_J@lycos.com

5. ประวัติการศึกษา

วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ

วศ.ม. วิศวกรรมการผลิต

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)

6.1 วิศวกรรมหล่อโลหะ

6.2 การอบชุบโลหะด้วยความร้อน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาภายในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : การศึกษาความหยาบมีอิทธิพลต่อการวัดค่าความแข็ง

7.3 งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

1. การศึกษาผลของมุมการเทน้ำโลหะที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน ในกระบวนการหล่อโลหะอลูมิเนียม วารสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ภูเก็ต 2548 การสนับสนุนทุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หมายเลขโครงการ 4801060123
2. การจำลองการไหล และการแข็งตัวของกระบวนการหล่ออลูมิเนียม วารสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ภูเก็ต 2548
3. อิทธิพลของอุณหภูมิน้ำโลหะในกระบวนการหล่อโลหะอลูมิเนียม วารสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 นครราชสีมา
   2549 ได้รับ การสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โครงการ F - 31-101 -21- 08