การจัดการเรียนรู้แบบโมดูล (Module)

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

โดย

นางสาวเบญจวรรณ สังฆนาคินทร์

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 1

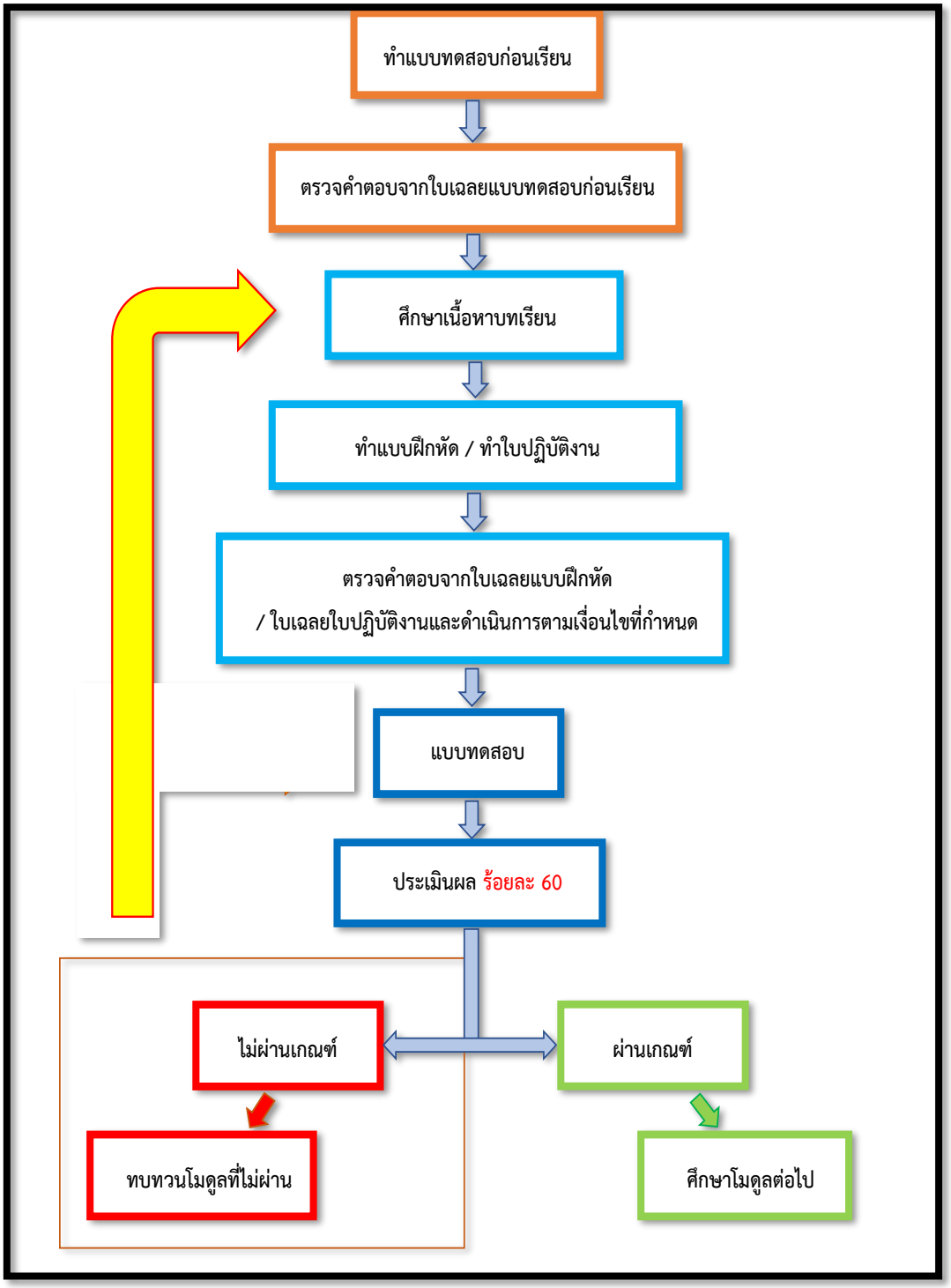
เรื่อง การทดสอบด้วยประกายไฟ

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 1

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชา วิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 1

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 1

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 1

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายนี้ ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการบริการวิชาชีพวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายเสียก่อน เพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายและเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบด้วยประกายไฟ

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบด้วยประกายไฟ

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบด้วยประกายไฟ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 1

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. จุดประสงค์หลักของการทดสอบด้วยประกายไฟคืออะไร?
   - ก. เพื่อดูว่าวัสดุสามารถติดไฟได้หรือไม่
   - ข. เพื่อทดสอบความแข็งของโลหะ
   - ค. เพื่อระบุประเภทของโลหะจากลักษณะของประกายไฟ
   - ง. เพื่อวัดอุณหภูมิของโลหะ
2. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับหลักการทดสอบด้วยประกายไฟ?
   - ก. ใช้ในการวัดความถ่วงจำเพาะของโลหะ
   - ข. อาศัยการดูสีและลักษณะของประกายไฟเพื่อเปรียบเทียบชนิดโลหะ
   - ค. ใช้เครื่องมือวัดแสงในการวิเคราะห์
   - ง. ไม่สามารถใช้กับเหล็กหรือโลหะผสมได้
3. ส่วนประกอบใดของประกายไฟที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนในโลหะได้ดีที่สุด?
   - ก. สีของประกายไฟ
   - ข. รูปร่างของประกายไฟ
   - ค. จำนวนเส้นประกายไฟ
   - ง. ลักษณะของปลายประกายไฟ (แตกกระจายหรือไม่)
4. เครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบด้วยประกายไฟคืออะไร?
   - ก. เตาอบไฟฟ้า
   - ข. กล้องจุลทรรศน์
   - ค. เครื่องเจียร (grinding wheel)
   - ง. เครื่องวัดแรงดัน
5. เหล็กกล้าคาร์บอนสูงจะให้ประกายไฟแบบใด?
   - ก. ประกายยาว สีขาว และแตกกระจายมาก
   - ข. ประกายสั้น สีแดง ไม่มีการแตกปลาย
   - ค. ไม่มีประกาย
   - ง. สีเขียวเป็นประกาย

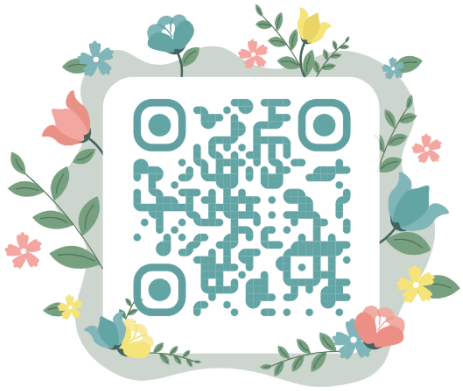
	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 1

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				



คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 1

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ข
3.	ง
4.	ค
5.	ก

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมาย ส่วนประกอบ และลักษณะของการทดสอบด้วยประกายไฟได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบด้วยประกายไฟได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบด้วยประกายไฟได้
4. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย
5. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบด้วยประกายไฟแล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

ใบความรู้

หน่วยที่ 1 การทดสอบด้วยประกายไฟ

การทดสอบประกายไฟของเหล็กเป็นวิธีที่มีประโยชน์ในการระบุชนิดของเหล็ก ซึ่งสามารถระบุปริมาณคาร์บอนสัมพัทธ์ของเหล็กได้ การทดสอบประกายไฟเป็นการทดสอบระบุชนิดอย่างง่าย ซึ่งใช้สังเกตสี ระยะห่าง ปริมาณ และคุณภาพของประกายไฟที่เกิดจากการเจียรตัวอย่างเหล็ก เมื่อนำเหล็กและเหล็กกล้าชนิดต่างๆ มาวางบนล้อเจียรเบาๆ จะเกิดประกายไฟที่มีความยาว รูปร่าง และสีที่แตกต่างกัน ประกายไฟเหล่านี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับแผนภูมิหรือประกายไฟจากตัวอย่างที่ทราบแล้วเพื่อกำหนดประเภทได้ โดยทั่วไปการทดสอบประกายไฟจะใช้เพื่อแยกประเภทวัสดุเหล็ก โดยระบุความแตกต่างระหว่างกันโดยการสังเกตว่าประกายไฟนั้นเหมือนหรือต่างกัน เหล็กหล่อก็ให้ประกายไฟประเภทหนึ่งเช่นกัน อย่างไรก็ตาม มีโลหะผสมเหล็กหลายชนิดที่ไม่ให้ประกายไฟเมื่อทำการทดสอบตามปกติ

ความแตกต่างของประกายไฟที่เกิดจากการนำเหล็กกล้าที่มีองค์ประกอบต่างกันมาใช้กับล้อเจียรที่หมุนได้ถูกอธิบายครั้งแรกในปี ค.ศ. 1804 ลักษณะของกระแสประกายไฟที่แน่นอนพบได้ในเหล็กกล้าสำหรับองค์ประกอบโลหะผสมแต่ละชนิด ได้แก่ โครเมียม แมงกานีส โมลิบดีนัม นิกเกิล ทังสเตน และวาเนเดียม การทดสอบประกายไฟสามารถใช้เป็นวิธีการจำแนกเหล็กกล้าออกเป็นกลุ่มที่มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน แต่ไม่สามารถใช้เป็นวิธีการระบุเหล็กกล้าที่ไม่รู้จักได้ การทดสอบประกายไฟจำกัดอยู่เพียงสองสาขาการใช้งาน ได้แก่ (i) การตรวจสอบ และ (ii) การคัดแยกเหล็กกล้าที่ไม่รู้จักออกจากเหล็กกล้าจำนวนมากที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ทราบแล้ว

การทดสอบประกายไฟเป็นวิธีที่รวดเร็ว ง่าย ประหยัด และสะดวกในการคัดแยกเหล็กผสมที่มีคุณสมบัติประกายไฟที่ทราบอยู่แล้ว สำหรับการทดสอบประกายไฟนี้ ไม่จำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างใดๆ ดังนั้นจึงมักใช้เศษเหล็ก การทดสอบประกายไฟไม่สามารถใช้ในการระบุเหล็กที่มีองค์ประกอบที่ไม่ทราบได้ การตรวจสอบเช่นนี้สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมีเท่านั้น วิธีการเปรียบเทียบประกายไฟยังสร้างความเสียหายให้กับวัสดุที่กำลังทดสอบ อย่างน้อยก็เล็กน้อย ลักษณะของประกายไฟที่เกิดขึ้นให้ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับประเภทของเหล็ก เหล็กหล่อ หรือเหล็กผสม การทดสอบประกายไฟไม่มีประโยชน์ในการระบุโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น โลหะผสมนิกเกิล อลูมิเนียม และทองแดง โลหะเหล่านี้ไม่มีกระแสประกายไฟที่ชัดเจน

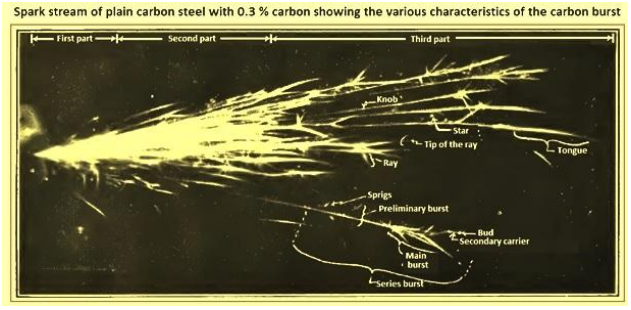
การทดสอบประกายไฟทำได้ดีที่สุดโดยการยึดเหล็กให้นิ่งและใช้ล้อเจียรมุมความเร็วสูงกับพื้นผิวเหล็กด้วยแรงกดที่เพียงพอเพื่อพ่นประกายไฟยาวประมาณ 300 มม. อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการทดสอบประกายไฟนั้นค่อนข้างง่าย ล้อเจียรที่ใช้โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40 มม. และความหนาประมาณ 10 มม. ติดตั้งอยู่บนเพลา ล้อจะหมุนด้วยมอเตอร์ประมาณ 100 วัตต์ เพื่อให้ความเร็วรอบอย่างน้อย 1,500 เมตรต่อนาทีเพื่อให้ได้ประกายไฟที่ดี จำเป็นต้องสวมแว่นตาสี เนื่องจากการสังเกตประกายไฟอย่างต่อเนื่องด้วยตาที่ไม่มีการป้องกันนั้นเป็นอันตราย สีของกระจกไม่สำคัญมากนัก ควรมีความหนาแน่นเพียงพอที่จะช่วยลดอาการปวดตา แต่ควรมีแสงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อไม่ให้บดบังลักษณะของประกายไฟ การทดสอบประกายไฟ

ตามปกติทั้งหมดจะดำเนินการโดยการตรวจสอบด้วยสายตา อย่างไรก็ตาม หากต้องการบันทึกข้อมูล จะมีการถ่ายรูปประกายไฟ

ล้อเจียรต้องมีความแข็งเพียงพอที่จะสึกหรอได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม แต่ยังคงความอ่อนพอที่จะรักษาคมตัดให้คมได้ การทดสอบประกายไฟควรทำในที่แสงน้อย เนื่องจากสีของประกายไฟเป็นสิ่งสำคัญ ในทุกกรณี ควรใช้ตัวอย่างโลหะมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบประกายไฟกับตัวอย่างทดสอบ

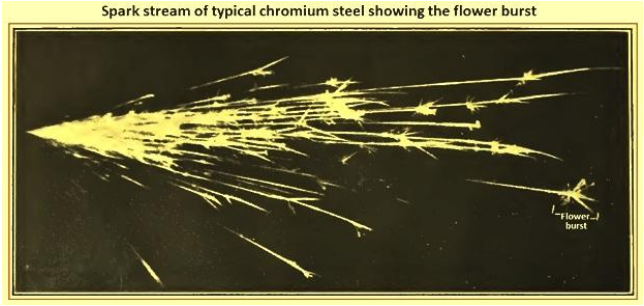
การศึกษากระแสประกายไฟสามารถทำให้ง่ายขึ้นได้โดยการแบ่งเส้นทางออกเป็นสี่ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนแรกอยู่ติดกับล้อขัดโดยตรง บางครั้งจะสังเกตเห็นสีเฉพาะ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเหมือนกับสีของกระแสประกายไฟ และมักจะตรวจพบประกายไฟของนิกเกิลในส่วนนี้ ส่วนที่สองครอบคลุมส่วนที่หนาแน่นของกระแสระหว่างเซกเตอร์แรกและการระเบิดของคาร์บอน ลักษณะเฉพาะที่เด่นชัดเพียงอย่างเดียวที่สังเกตได้ในส่วนนี้คือสี ส่วนที่สามประกอบด้วยการระเบิดของคาร์บอนที่เกิดขึ้นอย่างดีที่ปลายกระแส และในส่วนนี้เองที่ลักษณะเฉพาะที่ส่งผลต่อประกายไฟจากองค์ประกอบโลหะผสม ได้แก่ โครเมียม โมลิบดีนัม แมงกานีส คาร์บอน ซัลเฟอร์ นิกเกิล วาเนเดียม ทังสเตน และซิลิคอน ได้รับการสังเกตอย่างดีที่สุด ส่วนที่มองไม่เห็นของเส้นทางหลังจาก "การระเบิด" อาจถือเป็นส่วนที่สี่เพื่อความสมบูรณ์ แม้ว่าจะไม่ใช่ส่วนหนึ่งของประกายไฟจริงๆ ก็ตาม การศึกษาอนุภาคหรือเม็ดที่ 'ถูกเผาไหม้' ที่เก็บมาจากส่วนที่สี่นี้ให้ข้อมูลบางอย่างเกี่ยวกับเหล็กที่มีโครเมียม วาเนเดียม โมลิบดีนัม หรือโลหะผสมที่มีปริมาณสูงโดยทั่วไป

ลักษณะเฉพาะของกระแสประกายไฟได้รับการอธิบายด้วยคำศัพท์ต่างๆ คำศัพท์ลักษณะทั่วไปแสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงกระแสประกายไฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของคาร์บอนในเหล็กกล้า



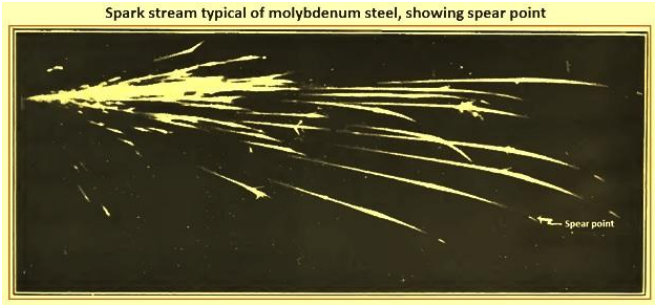
รูปที่ 1 กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่มีปริมาณคาร์บอน 0.3

คำว่า 'flower burst' แสดงอยู่ในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นกระแสประกายไฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กโครเมียม



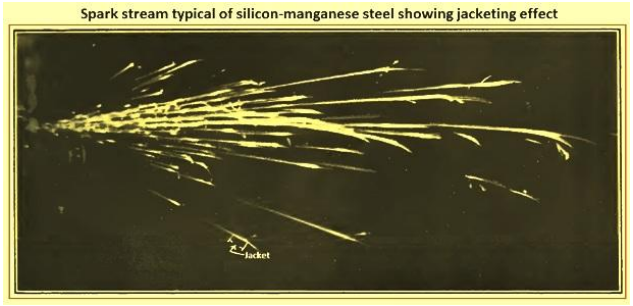
รูปที่ 2 กระแสประกายไฟของเหล็กโครเมียมทั่วไป

รูปที่ 3 แสดงคำว่า 'จุดหอก' ซึ่งแสดงให้เห็นกระแสประกายไฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กโมลิบดีนัม



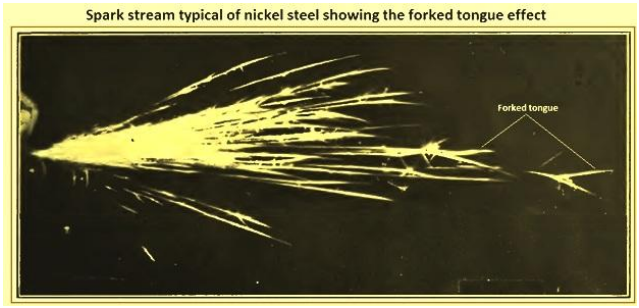
รูปที่ 3 กระแสประกายไฟแบบทั่วไปของเหล็กโมลิบดีนัม

คำว่า 'ปรากฏการณ์แจ็คเก็ต' แสดงอยู่ในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นกระแสประกายไฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กซิลิกอน-แมงกานีส



รูปที่ 4 กระแสประกายไฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กซิลิกอน-แมงกานีส

คำว่า 'ลิ้นแยก' แสดงอยู่ในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นกระแสประกายไฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กนิกเกิล



รูปที่ 5 กระแสประกายไฟแบบทั่วไปของเหล็กนิกเกิล

กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าอ่อน เหล็กกล้าคาร์บอนกลาง และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง เหล็กกล้าที่ผสมแมงกานีสจะมีกิจกรรมประกายไฟเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งในด้านจำนวน ความหนา และความเข้มของรังสี ในขณะที่เหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมจะมีผลตรงกันข้าม กล่าวคือ มีกิจกรรมประกายไฟน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม การแยกความแตกต่างจากเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดานั้นทำได้ไม่ยาก เนื่องจากเหล็กกล้าเหล่านี้มีการระเบิดหลายครั้ง ซึ่งเหล็กกล้าที่ผสมแมงกานีสและโครเมียมไม่มี ยิ่งมีคาร์บอนในเหล็กกล้าคาร์บอนสูงเท่าใด การระเบิดก็จะยิ่งสว่างขึ้นเท่านั้น เหล็กกล้าที่ผสมทังสเตนจะมีสีแดงอย่างเห็นได้ชัด

ทฤษฎีกระแสประกายไฟ

ลักษณะเฉพาะของกระแสประกายไฟนั้นเห็นได้ชัดว่าส่วนใหญ่เกิดจากการออกซิเดชันของคาร์บอนในเหล็กกล้า ธาตุผสมอาจมีส่วนทำให้เกิดลักษณะเฉพาะเล็กน้อยในกระแสประกายไฟ ดูเหมือนว่าเมื่อล้อเจียรฉีกอนุภาคขนาดเล็กของเหล็กออก การทำงานที่เกิดขึ้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้อาจเพิ่มขึ้นได้จากปรากฏการณ์ออกซิเดชันแบบ “ไพโรฟอร์” ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของอนุภาคขนาดเล็กที่ถูกฉีกออกจากตัวอย่างเหล็กด้วยพื้นผิวที่สะอาดปราศจากออกไซด์ อนุภาคของเหล็กจะถูกให้ความร้อนจนถึงระดับที่หลอมรวมตัว อย่างน้อยก็ในระดับผิวเผิน และมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นทรงกลม ออกซิเจนและคาร์บอนทำปฏิกิริยาในส่วนที่ถูกความร้อนของอนุภาค ก่อให้เกิด CO2 (คาร์บอนไดออกไซด์) และอาจรวมถึง CO (คาร์บอนมอนอกไซด์) ด้วย

ตะกรันออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดานั้นไม่เหนียวแน่นนักและหลุดลอกออกได้ง่าย ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในอนุภาคทรงกลมที่ได้รับความร้อนจะไหลออกทางผิวหนังที่แตกง่ายนี้ และก่อให้เกิด "ประกายไฟแบบต่อเนื่อง" เม็ดเหล็กที่ค่อนข้างเรียบซึ่งมีลวดลายเล็กน้อยบนพื้นผิวจะยังคงอยู่หลังจากที่อนุภาคเย็นตัวลง ธาตุผสมในเหล็กกล้าสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์ในลักษณะที่ทำให้เกิดประกายไฟที่หลากหลาย กระแสประกายไฟทั้งหมดประกอบด้วยวิถีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเรืองแสงจำนวนมากพร้อมกับ "ประกายไฟ" ที่เกิดขึ้นตามมา เมื่อปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าเพิ่มขึ้น จำนวนและความเข้มของ "ประกายไฟแบบต่อเนื่อง" ก็จะเพิ่มขึ้น

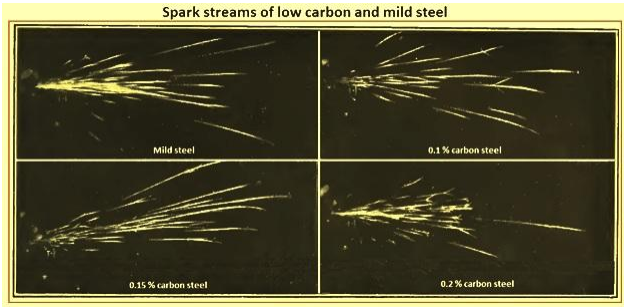
จากการศึกษากระแสประกายไฟของตัวอย่างเหล็กกล้าตัวแทนหลากหลายชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน พบว่ากระแสประกายไฟโดยทั่วไปบ่งชี้ว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่าง “กระแสประกายไฟคาร์บอน” ได้สองประเภท ซึ่งเรียกว่า “กระแสประกายไฟแบบอนุกรม” และ “กระแสประกายไฟแบบดอกไม้” กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา

กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำธรรมดาและเหล็กกล้าอ่อนแสดงในรูปที่ 6 กระแสประกายไฟที่ง่ายที่สุดคือเหล็กกล้าอ่อนซึ่งมีปริมาณคาร์บอนเต็ม แต่เนื่องจากมีคาร์บอนในปริมาณจำกัด จึงไม่สว่างมากนัก โดยทั่วไปกระแสประกายไฟจะมีสีแดงคล้ำ และการเกิดการแตกของก้านประกอบด้วยการบวมของสายหลักหรือสายพาหะ โดยมีก้านแตกเป็นครั้งคราวที่ฐานของการขยายตัว ในเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนประมาณ 0.1% จะเห็นการแตกของลำแสงคาร์บอนได้อย่างชัดเจน โดยปกติจะเป็นลิ้นที่ปลายสุด เมื่อลิ้นที่

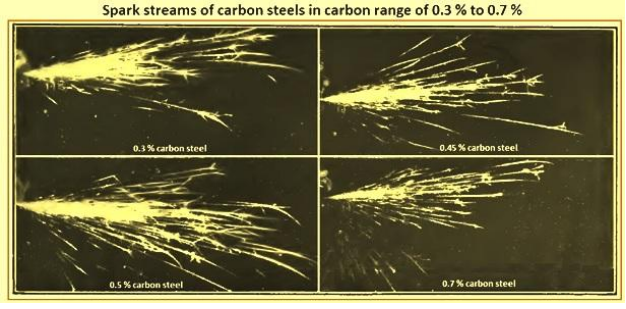
แตกเป็นแฉกปรากฏขึ้น กระแสประกายไฟจะสว่างขึ้นทั่วทั้งลำ "การแตกแบบอนุกรมของก้าน" ที่แท้จริงซึ่งพบได้บ่อยในเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนประมาณ 0.15% รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการแตกแบบอนุกรมประกอบด้วยก้านแตกแบบเรียบง่ายจำนวนหนึ่ง เมื่อปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.15% ความยาวของการเกิดการแตกแบบอนุกรมจะเพิ่มขึ้น และเกิดการแตกแบบตาและดาว ซึ่งทั้งหมดจะเพิ่มจำนวนขึ้นตามปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น

ลักษณะทั่วไปของกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าอ่อนแสดงอยู่ในรูปที่ 6 เหล็กกล้าอ่อนมีการแตกของก้านเดี่ยวและปลายสีเข้ม เหล็กกล้าคาร์บอน 0.1% มีการแตกของก้านสองหรือสามก้านและปลายสีเข้ม เหล็กกล้าคาร์บอน 0.15% มีการแตกของก้านแบบต่อเนื่อง และเหล็กกล้าคาร์บอน 0.2% มีการแตกของก้านและปลายแบบต่อเนื่อง รวมทั้งตา



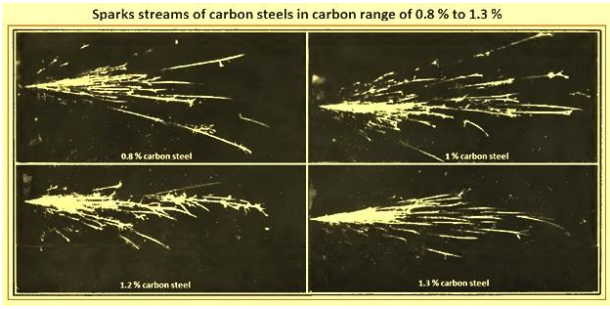
รูปที่ 6 กระแสประกายไฟของคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าอ่อน

รูปที่ 7 แสดงกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.3% ถึง 0.7% ความยาวสูงสุดของลิ้นเหล็กที่ได้จากเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.3% เหล็กกล้าชนิดนี้มีลิ้นเหล็กยาว แตกเป็นชุด แตกเป็นตา และแตกเป็นดาว ความยาวสูงสุดของการแตกเป็นตาอยู่ที่ 0.45% เหล็กกล้าชนิดนี้มีกระแสประกายไฟที่สว่าง แตกเป็นชุดมีแตกเป็นชุด แตกเป็นตา และแตกเป็นดาวแบบทุติยภูมิ เหล็กกล้าคาร์บอน 0.5% มีกระแสประกายไฟที่มีกิ่งก้านและตัวพารองสีเข้ม เหล็กกล้าคาร์บอน 0.7% มีกระแสประกายไฟที่มีกิ่งก้านและตัวพารองสีเข้มขึ้น เหล็กกล้าคาร์บอน 0.7% มีกระแสประกายไฟที่มีกิ่งก้านคาร์บอนสูง ตัวพาที่ละเอียดขึ้น แตกเป็นลิ้นสั้นลง ไม่มีกิ่งก้านและรังสีน้อย กระแสประกายไฟทั้งหมดจะมีสีอ่อนลงเมื่อปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นถึง 0.45% แล้วจึงค่อยๆ เข้มขึ้นในเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอน 1% ขึ้นไป ในการทดสอบเหล็กคาร์บอนสูงทั้งหมด มีแนวโน้มที่ประกายไฟจะถูกส่งไปรอบๆ ขอบของล้อเจียรโดยเฉพาะ



รูปที่ 7 กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนในช่วงคาร์บอน 0.3% ถึง 0.7%

เหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่มีช่วงคาร์บอน 0.8% ถึง 1.3% จะมีกระแสประกายไฟซึ่งแสดงให้เห็นการพัฒนาของลักษณะคาร์บอนทั้งหมด และกระแสประกายไฟโดยทั่วไปจะมีสีเข้มกว่า ดังที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนในช่วงคาร์บอน 0.8% ถึง 1.3%

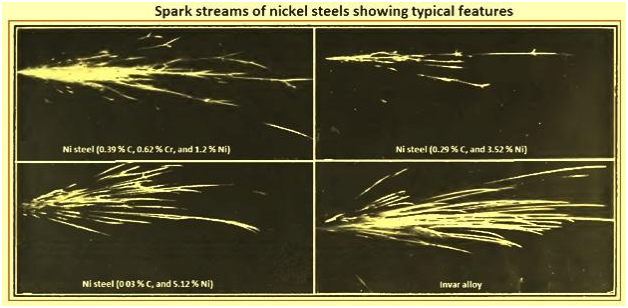
เหล็กกล้านิกเกิล

ลักษณะทั่วไปของกระแสประกายไฟของเหล็กกล้านิกเกิลแสดงในรูปที่ 9 นิกเกิลมีคุณสมบัติสองประการที่ส่งผลต่อกระแสประกายไฟ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการคัดแยกเหล็กผสมจำนวนมากที่มีองค์ประกอบที่ทราบอยู่แล้ว ประการแรกคือ 'ประกายไฟนิกเกิล' ซึ่งในที่นี้เรียกว่า 'แจ็คเก็ต' สามารถสังเกตได้ทั้งในส่วนแรกบนตัวพาที่สั้น หรือในส่วนที่สามที่ฐานของการระเบิดคาร์บอนที่พัฒนาอย่างดี แต่อาจเป็นลักษณะของโลหะผสมที่สังเกตได้ยากที่สุด ลักษณะที่สองคือลิ้นที่แตกออกซึ่งพบในการระเบิดหลายครั้ง แทนที่จะเป็นลิ้นเดี่ยวตามปกติ

ลักษณะของประกายนิกเกิลอาจเป็นผลมาจากชั้นออกไซด์บนพื้นผิวของอนุภาคเหล็กนิกเกิลที่มีการยึดเกาะมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชั้นออกไซด์บนเหล็กนิกเกิลนั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและฟิล์มบางแน่นจนพองตัวจากแรงดันที่เกิดขึ้นภายในเม็ดหลอมเหลว ดังนั้น ทรงกลมหลอมเหลวจึงสามารถขยายใหญ่ขึ้นก่อนที่จะแตกออก และด้วยความเร็วสูงของการเคลื่อนที่ จะก่อให้เกิดลำแสงที่ขยายกว้างขึ้นอย่างต่อเนื่องในเส้นทางของมัน ส่งผลให้เกิดแสงแฟลร์รูปวงรีที่ฐานของการระเบิด ซึ่งเรียกว่าประกายนิกเกิล

ในเหล็กกล้าที่มีนิกเกิล 3% ถึง 3.6% สีของกระแสประกายไฟจะเข้มกว่าสีของกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่เกี่ยวข้องเล็กน้อย แต่โดยรวมแล้วมีความคล้ายคลึงกัน กระแสประกายไฟจะแน่นและลิ้นจะสั้นลงเล็กน้อย ซึ่งปรากฏการณ์ลิ้นแตกเป็นปรากฏการณ์ที่พบได้บ่อย ประกายไฟนิกเกิลลักษณะเฉพาะนี้สังเกตได้ง่ายในเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนต่ำ (0.15%) แต่จะจางลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ 0.35% แทบจะไม่สังเกตเห็นได้ โดยทั่วไป กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าที่มีนิกเกิล 5% และคาร์บอน 0.15% จะคล้ายคลึงกับกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่เกี่ยวข้องอย่างมาก ความแตกต่างหลักๆ คือ กระแสประกายไฟที่ลดลงเล็กน้อย ความเข้มของกระแสประกายไฟที่ลดลง และประกายไฟนิกเกิล

เหล็กกล้าผสมทุกชนิดที่มีปริมาณนิกเกิลสูงจะทำให้เกิดประกายไฟ โลหะผสมชนิดอินวาร์ที่มีนิกเกิล 34.27% จะทำให้เกิดประกายไฟสีเหลือง ในขณะที่โลหะผสมชนิดที่มีนิกเกิล 47.4% จะทำให้เกิดประกายไฟสีเข้มเกินกว่าจะถ่ายภาพได้



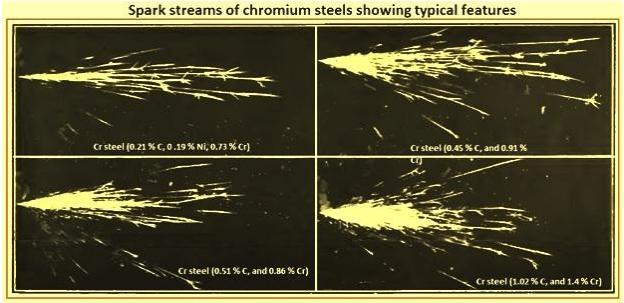
รูปที่ 9 กระแสประกายไฟของเหล็กนิกเกิลแสดงลักษณะทั่วไป

เหล็กโครเมียม

กระแสประกายไฟที่เป็นตัวแทนของเหล็กกล้าโครเมียมแสดงในรูปที่ 10 กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าโครเมียมแตกต่างจากเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาตรงที่เส้นพาหะมีความละเอียดกว่าและมีสีเข้มกว่าเล็กน้อย การระเบิดเป็นลักษณะแบบดอกไม้ ลักษณะเหล่านี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเกี่ยวข้องกับฟิล์มออกไซด์ที่แข็งแรงซึ่งก่อตัวขึ้นบนพื้นผิวของอนุภาค อนุภาคจะแตกสลายภายใต้แรงดันภายในที่สูงและส่งผลให้เกิดการระเบิดคล้ายดอกไม้

ในเหล็กกล้าโครเมียมที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.45% กระแสประกายไฟจะคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ยกเว้นแต่การแตกแบบดอกไม้ ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.45% กระแสประกายไฟจะคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดามาก ยกเว้นแต่เส้นพาหะจะละเอียดกว่าและเข้มกว่าเล็กน้อย จะเห็นการแตกแบบดอกไม้ได้ก็ต่อเมื่อตรวจสอบอย่างใกล้ชิดเท่านั้น ซึ่งดูเหมือนจะเป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กกล้าโครเมียมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า ซึ่งสามารถตรวจพบได้ในกระแสประกายไฟ

เหล็กกล้าทุกชนิดที่มีโครเมียมน้อยกว่า 5% จะมีคาร์บอนอย่างน้อย 0.7% กระแสประกายไฟที่เกิดขึ้นล้วนเป็นลักษณะเฉพาะของปริมาณคาร์บอน เหล็กกล้าที่มีปริมาณโครเมียมสูงที่สุดจะเป็นเหล็กกล้าประเภทสเตนเลส เหล็กกล้าชนิดนี้ที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจะให้กระแสประกายไฟที่สั้นมาก ซึ่งลิ้นมีแนวโน้มที่จะมีปลายแหลมแหลมคม ขอบของล้อขัดที่หมุนอยู่จะมีแถบสีสว่าง กระแสประกายไฟที่สั้นและเข้มจะเกิดขึ้นในเหล็กกล้าที่มีโครเมียมสูงและมีปริมาณคาร์บอนสูง แม้ว่ากระแสประกายไฟจะถูกควบคุมไว้อย่างมาก แต่การระเบิดของคาร์บอนก็ยังคงเต็มเปี่ยมและเป็นลักษณะเฉพาะของปริมาณคาร์บอนสูง ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณโครเมียมสูง (โครเมียม 15% ถึง 30%) กระแสประกายไฟจะไม่ปรากฏให้เห็น และจะไม่มีเลยในเหล็กกล้าที่มีโครเมียมประมาณ 30% หรือมากกว่า



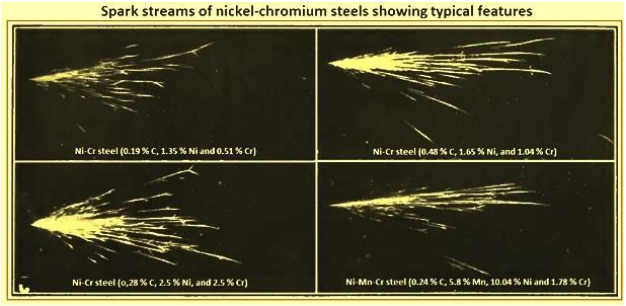
รูปที่ 10 กระแสประกายไฟของเหล็กโครเมียมแสดงคุณสมบัติทั่วไป

เหล็กนิกเกิล-โครเมียม

กระแสประกายไฟที่แสดงในรูปที่ 11 เป็นลักษณะเฉพาะของเหล็กกล้านิกเกิล-โครเมียมแบบง่ายทั้งหมด การรวมกันของธาตุผสมสองชนิด คือ นิกเกิลและโครเมียม ส่งผลให้ผลกระทบของนิกเกิลลดลงและผลกระทบของโครเมียมเพิ่มขึ้น กระแสประกายไฟมีความคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าโครเมียมคาร์บอนที่เกี่ยวข้องแต่มีสีเข้มกว่าเล็กน้อย ในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำประเภทนี้ จะตรวจพบประกายไฟนิกเกิล แต่ไม่พบในเหล็กกล้าที่มีคาร์บอน 0.3% หรือมากกว่า เมื่อปริมาณนิกเกิล-โครเมียมรวมกันเพิ่มขึ้น กระแสประกายไฟมีแนวโน้มที่จะเข้มขึ้น

พบว่าเหล็กกล้าที่มีปริมาณนิกเกิล-โครเมียมต่ำจะก่อให้เกิดกระแสประกายไฟซึ่งการแตกตัวของประกายไฟมีการพัฒนาอย่างดี ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณนิกเกิล-โครเมียมสูงกว่า (12%) ขึ้นไป ตัวนำพาจะมีสีเข้มขึ้นและมีกระแสประกายไฟน้อยมาก มีตัวนำพาที่สว่างเพียงไม่กี่ตัว ซึ่งส่วนใหญ่มีปลายแหลมแบบหอกปรากฏอยู่ในกระแสประกายไฟ และส่วนใหญ่ประกอบด้วยริ้วสีแดงด้าน ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนและนิกเกิล-โครเมียมสูง กระแสประกายไฟจะสั้น หายาก และมีสีเข้ม โดยมีการแตกตัวของประกายไฟซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของปริมาณคาร์บอนสูง ในเหล็กกล้าที่มีโครเมียมสูง ขอบของล้อเจียรจะมีแถบสีสว่าง

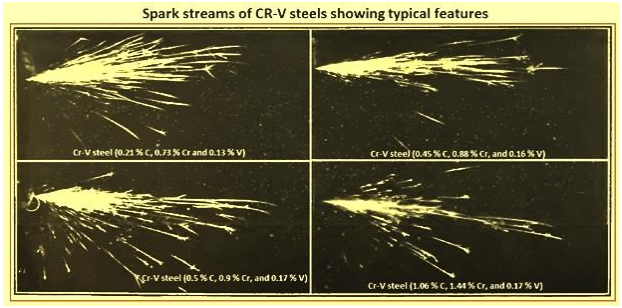
โดยทั่วไป เมื่อปริมาณนิกเกิล-โครเมียมเพิ่มขึ้น ลักษณะของกระแสประกายไฟจะเปลี่ยนจากเส้นพาหะที่สว่างเป็นเส้นสีแดงทึบที่ขาดความต่อเนื่อง ปริมาณนิกเกิล-โครเมียมที่สูงมีแนวโน้มที่จะยับยั้งกระแสประกายไฟทั้งหมด ผลลัพธ์นี้เกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนนิกเกิลและโครเมียมรวมกันอยู่ที่ประมาณ 30% เหล็กนิกเกิล-โครเมียมที่มีแมงกานีสค่อนข้างสูงจะให้กระแสประกายไฟที่สว่าง เนื่องจากแมงกานีสจะต้านฤทธิ์ของโครเมียม เหล็กนิกเกิล-โครเมียมที่มีซิลิกอน 2% จะให้กระแสประกายไฟเป็นเส้นสีแดงที่ขาดความต่อเนื่อง



รูปที่ 11 กระแสประกายไฟของเหล็กนิกเกิลโครเมียมแสดงลักษณะทั่วไป

เหล็กกล้าโครเมียม-วาเนเดียม

กระแสประกายไฟของเหล็กโครเมียม-วาเนเดียมแสดงในรูปที่ 12 กระแสเหล่านี้มีลักษณะเฉพาะที่ปริมาณโครเมียมมากกว่าปริมาณวาเนเดียม วาเนเดียมในฐานะธาตุผสมทำให้เกิดจุดสเปียร์พอยต์ในกระแสที่ปลายของสายพาหะบางเส้น อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถใช้เป็นวิธีการระบุที่เชื่อถือได้ แม้ว่าจะมีประโยชน์ในการช่วยก็ตาม ในรูปที่ 12 กระแสด้านบนซ้ายแสดงการแตกของดอกพร้อมกับจุดสเปียร์พอยต์เป็นครั้งคราว กระแสด้านบนขวาแสดงการแตกของดอก กระแสด้านล่างซ้ายและล่างขวาแสดงการแตกของคาร์บอน



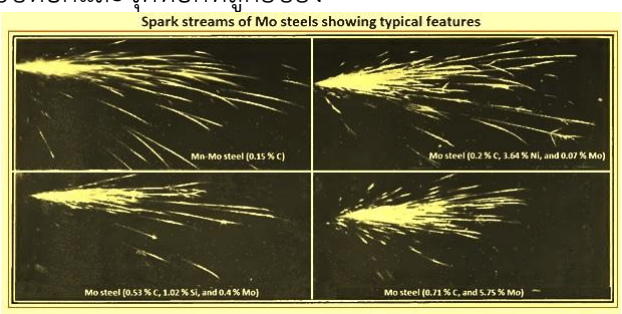
รูปที่ 12 กระแสประกายไฟของเหล็กโครเมียม-วาเนเดียม

เหล็กกล้าโมลิบดีนัม

เหล็กกล้าโมลิบดีนัมจะมีลักษณะการลุกจ้าที่ปลายลำแสงแต่ละอัน ซึ่งแยกออกจากปลายลำแสงอย่างสมบูรณ์ และในที่นี้เรียกว่า "ปลายหอก" สีของปลายหอกจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเหล็ก ปลายหอกนี้ปรากฏในเหล็กกล้าทุกชนิดที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.5% การระบุชนิดของเหล็กกล้าเหล่านี้ทำได้ง่ายและแน่นอน

ในเหล็กกล้าโครเมียม-โมลิบดีนัม จะเห็นลักษณะการแตกแบบดอกไม้ของโครเมียมได้อย่างชัดเจน ในกรณีอื่นๆ ปริมาณคาร์บอนดูเหมือนจะเป็นปัจจัยที่กำหนดลักษณะเด่นของประกายไฟ ลักษณะของจุดปลายแหลมไม่พบในกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าโมลิบดีนัมที่มีโครเมียม นิกเกิล หรือคาร์บอนมากเกินไป อิทธิพลของคาร์บอนที่มีต่อจุดปลายแหลมขึ้นอยู่กับปริมาณโมลิบดีนัม ตัวอย่างเช่น ในเหล็กกล้าที่มีคาร์บอน 0.78% และโมลิบดีนัม 0.08% จะไม่มีจุดปลายแหลมในกระแสประกายไฟ ในขณะที่เหล็กกล้าที่มีคาร์บอน 0.71% และโมลิบดีนัม 5.75% จะแสดงจุดปลายแหลมในกระแสประกายไฟ เช่นเดียวกับที่แสดงในกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าที่มีคาร์บอน 0.2% และโมลิบดีนัม 0.07%

รูปที่ 13 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสประกายไฟของเหล็กโมลิบดีนัม เหล็กที่มีคาร์บอน-โมลิบดีนัม (Mn-Mo) ที่มีคาร์บอน 0.15% แสดงให้เห็นถึงการแตกตัวของคาร์บอนและจุดหอก (Spear Point) ที่ถูกยับยั้ง เหล็กที่มีคาร์บอน 0.2%, นิกเกิล 3.64% และโมลิบดีนัม 0.07% แสดงให้เห็นถึงการแตกตัวของคาร์บอนแบบหอก เหล็กที่มีคาร์บอน 0.53%, ซิลิคอน 1.02% และโมลิบดีนัม 0.4% แสดงให้เห็นถึงการแตกตัวของคาร์บอนแบบหอกและจุดหอกที่ถูกยับยั้ง เหล็กที่มีคาร์บอน 0.71%, โมลิบดีนัม 5.75% แสดงให้เห็นถึงการแตกตัวของคาร์บอนแบบหอกและจุดหอกที่ถูกยับยั้ง



รูปที่ 13 กระแสประกายไฟของเหล็ก Mo แสดงลักษณะทั่วไป

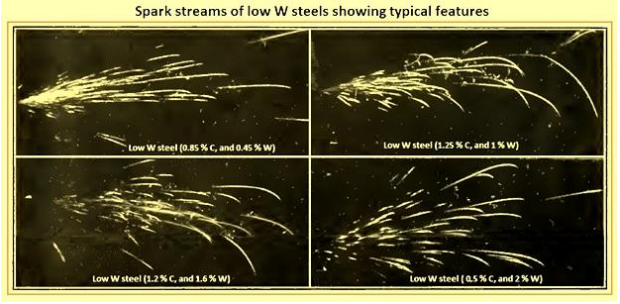
	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

เหล็กทังสเตน

พบว่าทังสเตนให้สีแดงอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะแก่กระแสประกายไฟ ซึ่งการปะทุของคาร์บอนหลักจะถูกระงับไว้ และพาหะรองซึ่งมีสีเข้มจนมองไม่เห็นจะมีปลายแหลมเป็นรูปดอกตูมและรูปดาว ซึ่งความแวววาวของแสงขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน ลิ้นที่สั้นและตันซึ่งมีความโค้งลงอย่างเห็นได้ชัดก็เป็นลักษณะเฉพาะเช่นกัน กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าที่มีปริมาณโลหะผสมต่ำจะมีความเข้มเต็มที่และเข้ม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะเหล่านี้ ในเหล็กกล้าที่มีทังสเตน 1.5% หรือมากกว่า ความเข้มของการปะทุของคาร์บอนจะลดลงและกระแสประกายไฟจะมีสีแดงเข้ม ในเหล็กกล้าที่มีทังสเตน 2% การปะทุของคาร์บอนจะแปรผันแม้ในเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ซึ่งการปะทุจะแตกต่างกันไปตั้งแต่แบบทั่วไปที่มีปริมาณคาร์บอนสูงไปจนถึงแบบที่ปกติมีปริมาณคาร์บอนต่ำ

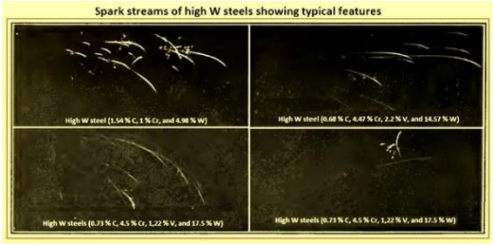
การมีโครเมียมในปริมาณประมาณ 1.5% ดูเหมือนจะไม่ส่งผลกระทบต่อการแสดงผล แต่ปริมาณที่มากขึ้น เช่น 10.5% มีแนวโน้มที่จะ "ทำลาย" กระแสประกายไฟ การเพิ่มขึ้นของปริมาณทังสเตนที่มากกว่าประมาณ 2% ส่งผลให้เกิดกระแสประกายไฟแบบ "รุนแรง" ซึ่งบางครั้งรุนแรงมากจนเส้นทางของเม็ดโลหะเปลี่ยนทิศทางไปโดยสิ้นเชิง ตัวพาความร้อนจะปรากฏเป็นเส้นสีแดงที่แยกออกจากกัน การมีทังสเตน 5% ทำให้ปริมาณประกายไฟลดลงอย่างรวดเร็ว และเหล็กกล้าที่มีทังสเตน 5% ถึง 15% แทบจะไม่แสดงเส้นสีแดงทึบซึ่งความแวววาวของเส้นนี้ขึ้นอยู่กับโครเมียมที่มีอยู่เป็นส่วนใหญ่ เหล็กกล้าที่มีทังสเตน 20% ขึ้นไปแทบจะไม่แสดงกระแสประกายไฟเลย ปริมาณโครเมียม-ทังสเตนรวมที่จำเป็นในการกำจัดประกายไฟนั้นต่ำกว่าปริมาณนิกเกิลและโครเมียมมากในการสร้างผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน โดยผลรวมอยู่ที่ประมาณ 20%

รูปที่ 14 แสดงลักษณะทั่วไปของกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าทังสเตนต่ำ กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าทังสเตนต่ำที่มีคาร์บอน 0.85% และ 0.45 วัตต์ มีปลายแหลมหนา คาร์บอนระเบิดต่ำ และตัวพาสีเข้ม กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าทังสเตนต่ำที่มีคาร์บอน 1.25% และ 1% วัตต์ มีลิ้นโค้งลง ปลายแหลมหนา คาร์บอนระเบิดต่ำ และสีแดง กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าทังสเตนต่ำที่มีคาร์บอน 1.2% และ 1.6% วัตต์ มีลิ้นโค้งลง ปลายแหลมหนา สีแดงเข้ม ตัวพาสีเข้มมาก และตัวพาคาร์บอนระเบิดต่ำ กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าทังสเตนต่ำที่มีคาร์บอน 0.5% และ 2% วัตต์ มีพาสีเข้มมาก ลิ้นสว่าง โค้งลงสู่ลิ้น คาร์บอนระเบิดต่ำ และตัวพาสีเข้มมาก ตุ่มสว่าง และดาว



รูปที่ 14 กระแสประกายไฟของเหล็ก W ต่ำที่แสดงคุณสมบัติทั่วไป

รูปที่ 15 แสดงลักษณะทั่วไปของกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าทังสเตนสูง เหล็กกล้าทังสเตนสูงที่มีคาร์บอน 1.54%, โครเมียม 1% และ W 4.98% มีพาหะสีแดงเข้ม, การระเบิดแบบกด, พาหะรองสีเข้มมาก, ปลายเหล็กหนาซึ่งโค้งลง เหล็กกล้าทังสเตนสูงที่มีคาร์บอน 0.68%, โครเมียม 4.47%, V 2.2% และ W 14.57% มีเส้นสีแดงเข้มที่แยกออกจากกัน โดยมีอาการบวมเป็นลิ้นเป็นครั้งคราว เหล็กกล้าทังสเตนสูงที่มีคาร์บอน 0.73%, โครเมียม 4.5%, V 1.22% และ W 17.50% มีเส้นสีแดงเข้มที่แยกออกจากกัน โดยมีการระเบิดของคาร์บอนเป็นครั้งคราว เหล็กกล้านี้ยังแสดงลักษณะการระเบิดแบบรุนแรงของทังสเตนดังที่เห็นในมุมขวาล่าง



รูปที่ 15 กระแสประกายไฟของเหล็กทังสเตนสูง

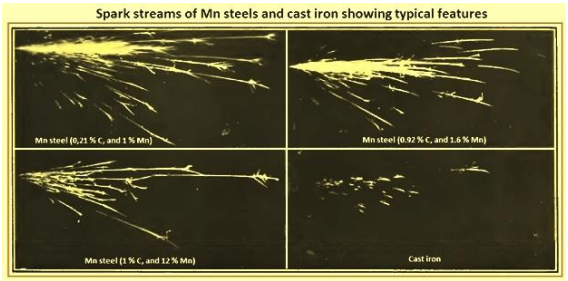
เหล็กซิลิกอน-แมงกานีส

กระแสประกายไฟของเหล็กซิลิคอน-แมงกานีส ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 0.52% แมงกานีส 0.83% และซิลิคอน 2.1% แสดงในรูปที่ 4 กระแสประกายไฟมีสีแดงเข้ม มีลิ้นรูปกระบอง และมีการแตกตัวของคาร์บอนลดลง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากอิทธิพลของซิลิคอน แมงกานีสทำให้การแตกตัวมีประกายแวววาว

เหล็กกล้าแมงกานีส

กระแสประกายไฟของเหล็กกล้าแมงกานีสที่แสดงในรูปที่ 16 แสดงให้เห็นการปะทุแบบ 'หุ้ม' อย่างหนัก เปลือกนี้คล้ายคลึงกับที่สังเกตเห็นในกระแสประกายไฟของเหล็กกล้านิกเกิล แม้ว่าจะมีความสุกสว่างกว่าเล็กน้อย ดูเหมือนว่าการปะทุของคาร์บอนจะได้รับผลกระทบจากแมงกานีสเพียงเล็กน้อย กระแสนี้เต็มเปี่ยมและสว่างกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทั่วไปของกระแสประกายไฟของเหล็กแมงกานีสแสดงในรูปที่ 16 กระแสประกายไฟของเหล็กแมงกานีสที่มีคาร์บอน 0.21% และแมงกานีส 1.00% มีเปลือกหุ้มและการระเบิดแบบกะทัดรัด กระแสประกายไฟของเหล็กแมงกานีสที่มีคาร์บอน 0.92% และแมงกานีส 1.60% มีเปลือกหุ้มและการระเบิดแบบกะทัดรัด และมีความสว่าง กระแสประกายไฟของเหล็กแมงกานีสที่มีคาร์บอน 1% และแมงกานีส 12% มีเปลือกหุ้มและการระเบิดแบบกะทัดรัด และมีความสว่าง



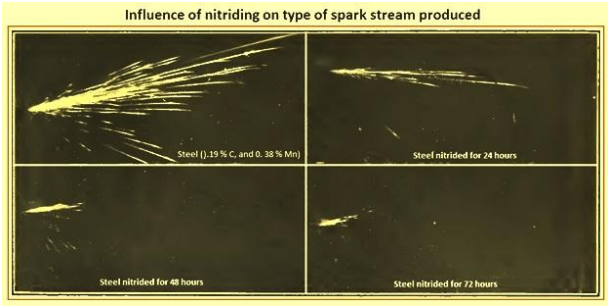
รูปที่ 16 กระแสประกายไฟของเหล็กแมงกานีสและเหล็กหล่อ

เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อมีประกายไฟสั้นมาก (ยาวประมาณ 650 มม.) และมีปริมาตรต่ำ ซึ่งเริ่มต้นที่ล้อเจียร เหล็กหล่อจะเกิดประกายไฟสีแดงทึบ ไม่ระเบิด และจะหนาขึ้นเมื่อถึงปลาย กระแสประกายไฟของเหล็กหล่อแสดงในรูปที่ 16 กระแสประกายไฟประกอบด้วยพาหะสีเข้มมาก โดยมีประกายไฟที่ค่อนข้างสว่าง

ผลของการบำบัดด้วยไนไตรด์ของเหล็กต่อกระแสประกายไฟ

เหล็กกล้าที่ผ่านการไนไตรด์ หรือที่เรียกว่า "การชุบแข็งผิว" ด้วยไนโตรเจน แสดงให้เห็นว่าลักษณะของกระแสประกายไฟเปลี่ยนแปลงไปจากการไนไตรด์ และการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับระดับของการไนไตรด์ ดังแสดงในรูปที่ 17 ซึ่งแสดงกระแสประกายไฟของเหล็กกล้าที่มีคาร์บอน 0.19% แมงกานีส 0.38% ฟอสฟอรัส 0.014% กำมะถัน 0.012% ซิลิคอน 0.16% อะลูมิเนียม 1.88% และโมลิบดีนัม 0.83% ก่อนการไนไตรด์ และหลังจากผ่านการไนไตรด์ 24 ชั่วโมง 48 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ กระแสประกายไฟเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของเวลาการไนไตรด์ต่อชนิดของกระแสประกายไฟที่เกิดขึ้น เหล็กกล้าดั้งเดิมให้กระแสประกายไฟที่ยาวเต็มความยาวพร้อมปลายแหลม เหล็กกล้าหลังจากผ่านการไนไตรด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแสดงกระแสประกายไฟที่สั้นลงด้วยการระเบิดที่แตกต่างกัน เหล็กกล้าหลังการไนไตรด์เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่ากระแสประกายไฟสั้น โดยไม่มีการระเบิด เหล็กกล้าหลังการไนไตรด์เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่ากระแสประกายไฟถูกระงับไว้เกือบทั้งหมด โดยไม่มีการระเบิด วิธีนี้น่าจะมีประโยชน์ในการประเมินความแตกต่างของความหนาของชั้นผิวบนผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าไนไตรด์ ซึ่งเห็นได้จากกระแสประกายไฟ



รูปที่ 17 อิทธิพลของการไนไตรด์ต่อประเภทของกระแสประกายไฟ

การทดสอบเม็ด

มีความเป็นไปได้ในการระบุชนิดของเหล็กโดยการตรวจสอบ 'เม็ดโลหะ' ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบประกายไฟของเหล็ก การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเสริมของการทดสอบประกายไฟและไม่ใช่การทดสอบที่สมบูรณ์ในตัวเอง จากการตรวจสอบ 'ฝุ่น' โลหะจากกระแสประกายไฟของเหล็กพบว่าอนุภาคที่ถูกเผาไหม้แต่ละอนุภาคเป็นเม็ดกลมหรือเม็ดโลหะ และเม็ดโลหะจากเหล็กชนิดหนึ่งมักจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากเม็ดโลหะจากเหล็กอีกชนิดหนึ่ง

โดยปกติแล้ว 'ฝุ่น' จากกระแสประกายไฟสำหรับการตรวจสอบนี้จะถูกเก็บรวบรวม และเม็ดทรงกลมจะถูกแยกออกจากอนุภาคที่มีรูปร่างผิดปกติมากขึ้นโดยการกลิ้งบนแผ่นกระดาษ จากนั้นเม็ดทรงกลมจะถูกร่อน เม็ดทั้งหมดที่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมชจะถูกเก็บรวบรวมและตรวจสอบด้วยกำลังขยายต่ำภายใต้

กล้องจุลทรรศน์ เม็ดจากเหล็กกล้าคาร์บอนและนิกเกิลธรรมดาจะมีสีดำมันวาว โดยมีลวดลายไม่ชัดเจนปรากฏบนพื้นผิว ปริมาณคาร์บอนดูเหมือนจะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะของพื้นผิวของเม็ด เม็ดจากเหล็กกล้าโครเมียมจะมีความหยาบและมีสีเทาอ่อน เม็ดจากเหล็กกล้าโมลิบดีนัมจะมีความเรียบมากและสีดำสนิท พบเม็ดรูปทรงลูกแพร์ที่กระจัดกระจายอยู่ตามพาเลทของเหล็กกล้าวาเนเดียมบางชนิด เหล็กซิลิคอน-แมงกานีสจะผลิตเม็ดที่เป่าไม่ดี ซึ่งแม้จะมีรูปร่างเป็นทรงกลม แต่ก็มีรูพรุนที่เป่าทะลุได้ทั้งหมด ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเม็ดเหล็กบางประเภท

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 1

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการเบื้องต้นของการทดสอบด้วยประกายไฟว่ามีจุดประสงค์เพื่ออะไร และใช้หลักการอะไรในการจำแนกโลหะ

.....

.....

.....

2. เมื่อทำการทดสอบด้วยประกายไฟ โลหะแต่ละชนิดจะแสดงลักษณะของประกายไฟแตกต่างกันอย่างไร? ยกตัวอย่างอย่างน้อย 2 ชนิด

.....

.....

.....

3. ส่วนประกอบของประกายไฟมีอะไรบ้าง? อธิบายหน้าที่หรือความสำคัญของแต่ละส่วน

.....

.....

.....

4. เหตุใดจึงต้องใช้เครื่องเจียรหรือหินเจียรในการทดสอบด้วยประกายไฟ และควรปฏิบัติอย่างไรเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ

.....

.....

.....

5. จากการสังเกตประกายไฟของโลหะชนิดหนึ่ง พบว่ามีประกายสีขาว ปลายแตกกระจายเป็นจำนวนมาก คุณคิดว่าโลหะนั้นเป็นโลหะประเภทใด? เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลที่ 1

1. อธิบายหลักการเบื้องต้นของการทดสอบด้วยประกายไฟว่ามีจุดประสงค์เพื่ออะไร และใช้หลักการอะไรในการจำแนกโลหะ

คำตอบ: การทดสอบด้วยประกายไฟมีจุดประสงค์เพื่อจำแนกหรือระบุชนิดของโลหะ โดยเฉพาะเหล็กและโลหะผสมต่าง ๆ โดยอาศัยการสังเกตลักษณะของประกายไฟที่เกิดจากการเสียดสีกับหินเจียร เช่น สี ความยาว การแตกปลาย และความหนาแน่นของประกาย ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีของโลหะนั้น ๆ

2. เมื่อทำการทดสอบด้วยประกายไฟ โลหะแต่ละชนิดจะแสดงลักษณะของประกายไฟแตกต่างกันอย่างไร? ยกตัวอย่างอย่างน้อย 2 ชนิดลักษณะของประกายไฟจะแตกต่างกันตามชนิดของโลหะ เช่น

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ: ประกายสั้น สีแดง ปลายไม่แตก

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง: ประกายยาว สีขาว ปลายแตกกระจายมาก

เหล็กหล่อ: ประกายจะกระจายเป็นกลุ่มก้อน มีลักษณะหยาบ

โลหะที่ไม่มีธาตุเหล็ก (Non-ferrous): บางชนิดอาจไม่เกิดประกายไฟเลย

3. ส่วนประกอบของประกายไฟมีอะไรบ้าง? อธิบายหน้าที่หรือความสำคัญของแต่ละส่วน

ส่วนประกอบของประกายไฟมี 3 ส่วนหลัก ได้แก่

ลำประกาย (Spark Line) – เป็นเส้นที่พุ่งออกจากจุดสัมผัส แสดงถึงพลังงานเริ่มต้นของประกาย

จุดแตกปลาย (Burst Point) – จุดที่ประกายแตกกระจายออกเป็นเส้นหรือดอกบาน บ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนหรือองค์ประกอบอื่น

สีของประกาย (Spark Color) – แสดงลักษณะเฉพาะของโลหะ เช่น สีขาว ส้ม หรือแดง บอกชนิดของธาตุในโลหะ

4. เหตุใดจึงต้องใช้เครื่องเจียรหรือหินเจียรในการทดสอบด้วยประกายไฟ และควรปฏิบัติอย่างไรเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ

คำตอบ: เครื่องเจียรหรือหินเจียรใช้ในการเสียดสีโลหะเพื่อให้เกิดประกายไฟ เนื่องจากความร้อนจากแรงเสียดทาน ทำให้เศษโลหะเกิดการเผาไหม้และแสดงประกาย เพื่อความปลอดภัย ควร:

สวมแว่นตานิรภัย

สวมถุงมือและหน้ากากกันฝุ่น

ยืนให้ห่างจากทิศทางประกายไฟ

ตรวจสอบว่าเครื่องเจียรอยู่ในสภาพดีและแน่นหนา

5. จากการสังเกตประกายไฟของโลหะชนิดหนึ่ง พบว่ามีประกายสีขาว ปลายแตกกระจายเป็นจำนวนมาก คุณคิดว่าโลหะนั้นเป็นโลหะประเภทใด? เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น

คำตอบ: โลหะชนิดนั้นน่าจะเป็น เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เพราะมีลักษณะประกายสีขาว และปลายแตกกระจายเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโลหะที่มีคาร์บอนสูง เพราะคาร์บอนทำให้ประกายแตกปลายได้ชัดเจนมากขึ้น

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 1

เรื่อง การทดสอบด้วยประกายไฟ

ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้โดยใช้ความรู้จากบทเรียนเรื่องการทดสอบด้วยประกายไฟ

1. จากการทดสอบด้วยประกายไฟ ถ้าโลหะชนิดหนึ่งแสดงประกายสีขาว ปลายแตกกระจายจำนวนมาก ลักษณะเช่นนี้บอกอะไรเกี่ยวกับโลหะนั้น? และทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ**	**หน่วยที่ 1** **สอนครั้งที่ 1** **ชั่วโมงรวม 4**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 1

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. จุดประสงค์หลักของการทดสอบด้วยประกายไฟคืออะไร?
   - ก. เพื่อดูว่าวัสดุสามารถติดไฟได้หรือไม่
   - ข. เพื่อทดสอบความแข็งของโลหะ
   - ค. เพื่อระบุประเภทของโลหะจากลักษณะของประกายไฟ
   - ง. เพื่อวัดอุณหภูมิของโลหะ
2. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับหลักการทดสอบด้วยประกายไฟ?
   - ก. ใช้ในการวัดความถ่วงจำเพาะของโลหะ
   - ข. อาศัยการดูสีและลักษณะของประกายไฟเพื่อเปรียบเทียบชนิดโลหะ
   - ค. ใช้เครื่องมือวัดแสงในการวิเคราะห์
   - ง. ไม่สามารถใช้กับเหล็กหรือโลหะผสมได้
3. ส่วนประกอบใดของประกายไฟที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนในโลหะได้ดีที่สุด?
   - ก. สีของประกายไฟ
   - ข. รูปร่างของประกายไฟ
   - ค. จำนวนเส้นประกายไฟ
   - ง. ลักษณะของปลายประกายไฟ (แตกกระจายหรือไม่)
4. เครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบด้วยประกายไฟคืออะไร?
   - ก. เตาอบไฟฟ้า
   - ข. กล้องจุลทรรศน์
   - ค. เครื่องเจียร (grinding wheel)
   - ง. เครื่องวัดแรงดัน
5. เหล็กกล้าคาร์บอนสูงจะให้ประกายไฟแบบใด?
   - ก. ประกายยาว สีขาว และแตกกระจายมาก
   - ข. ประกายสั้น สีแดง ไม่มีการแตกปลาย
   - ค. ไม่มีประกาย
   - ง. สีเขียวเป็นประกาย

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 1

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 1 : การทดสอบด้วยประกายไฟ	หน่วยที่ 1 สอนครั้งที่ 1 ชั่วโมงรวม 4

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 1

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ข
3.	ง
4.	ค
5.	ก

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 2

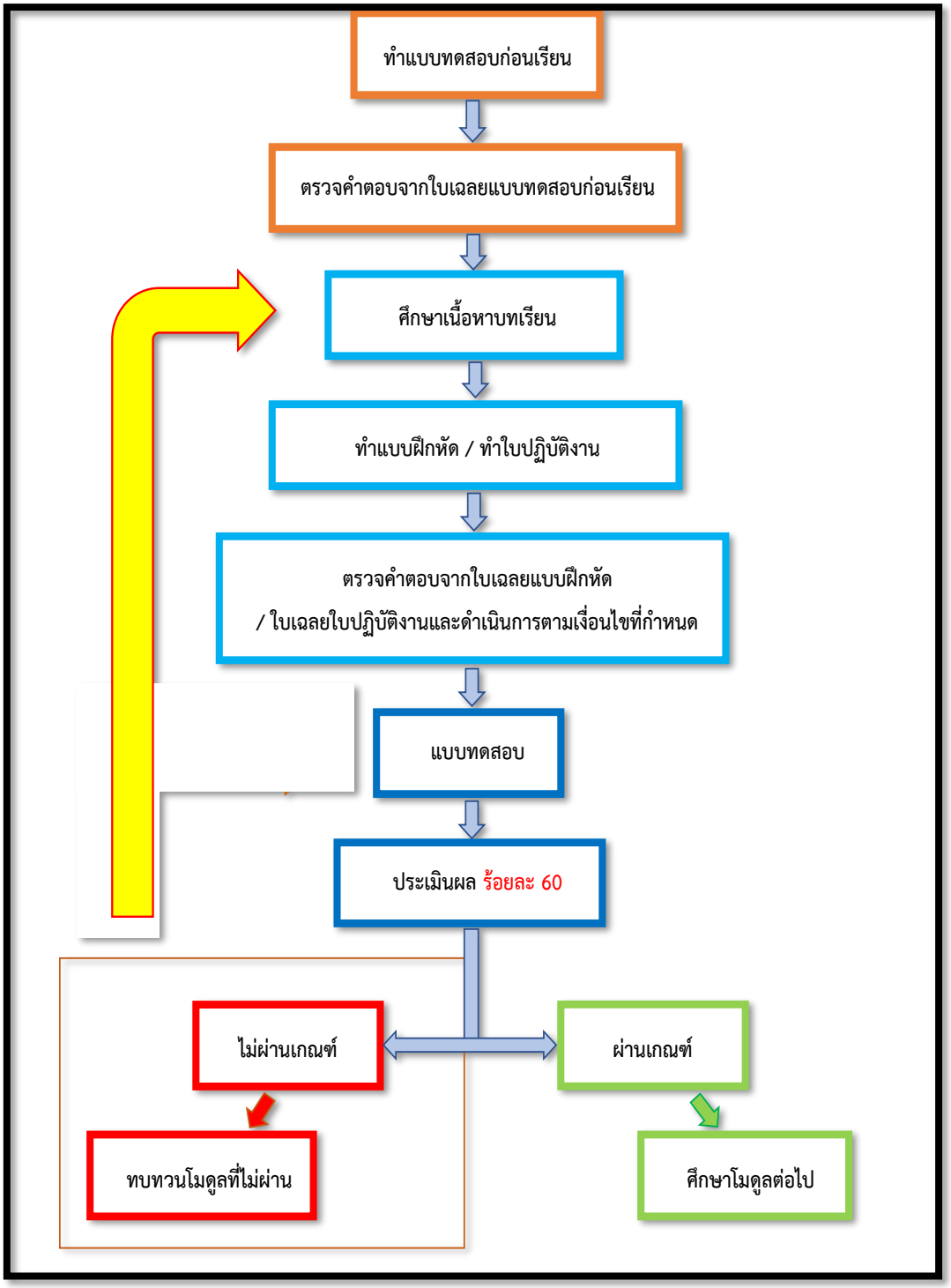
เรื่อง การทดสอบด้วยแรงกระแทก

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 2

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชา วิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 2

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 2

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 2

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย นี้ ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย เสียก่อน เพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย และเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบด้วยแรงกระแทก

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบด้วยแรงกระแทก

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบด้วยแรงกระแทก

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 2

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. การทดสอบด้วยแรงกระแทกมีวัตถุประสงค์อะไร?
   - ก. เพื่อวัดความแข็งของวัสดุ
   - ข. เพื่อวัดความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ
   - ค. เพื่อวัดความเหนียวของวัสดุ
   - ง. เพื่อวัดความต้านทานการกัดกร่อน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแรงกระแทกที่นิยมใช้มากที่สุดคืออะไร?
   - ก. เครื่องวัดแรงดึง
   - ข. เครื่องทดสอบแรงกระแทกชาร์ปี (Charpy Impact Tester)
   - ค. เครื่องทดสอบแรงอัด
   - ง. เครื่องทดสอบความแข็ง
3. ในทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact Test) ชิ้นตัวอย่างจะถูกตัดเป็นรูปแบบใด?
   - ก. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
   - ข. รูปทรงกระบอก
   - ค. มีรอยกรีดตรงกลาง
   - ง. ไม่มีรอยกรีด
4. หน่วยของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแรงกระแทกมักจะใช้หน่วยใด?
   - ก. นิวตัน (N)
   - ข. จูล (J)
   - ค. เมตร (m)
   - ง. ปาสกาล (Pa)
5. ข้อใดต่อไปนี้ไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการทดสอบแรงกระแทก?
   - ก. อุณหภูมิของตัวอย่าง
   - ข. ความเร็วของแรงกระแทก
   - ค. สีของวัสดุ
   - ง. ขนาดและรูปร่างของตัวอย่าง

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 2

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 2

ข้อที่	คำตอบ
1.	ข
2.	ข
3.	ค
4.	ข
5.	ค

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมาย หลักการ วัตถุประสงค์ ลักษณะของการทดสอบด้วยแรงกระแทกได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบด้วยแรงกระแทกได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบด้วยแรงกระแทกได้
4. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย
5. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบด้วยแรงกระแทกแล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

ใบความรู้

หน่วยที่ 2 การทดสอบด้วยแรงกระแทก

1. ความหมายของการทดสอบด้วยแรงกระแทก

การทดสอบด้วยแรงกระแทก (**Impact Testing**) คือการทดสอบเพื่อวัดความต้านทานของวัสดุต่อแรงกระแทก หรือแรงที่มากระทันหันในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยการส่งแรงกระแทกที่มีพลังงานกำหนดไปยังชิ้นงาน และวัดพลังงานที่วัสดุดูดซับไว้ก่อนที่จะเกิดการแตกหัก

2. หลักการของการทดสอบด้วยแรงกระแทก

หลักการทดสอบคือ การใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องทดสอบแรงกระแทกชาร์ปี (**Charpy Impact Tester**) หรือเครื่องทดสอบอิซอด (**Izod Impact Tester**) ปล่อยตุ้มเหล็กที่มีน้ำหนักและความสูงที่กำหนดให้กระแทกชิ้นตัวอย่างที่มีรอยกรีด แล้ววัดพลังงานที่ใช้ไปในการทำลายชิ้นตัวอย่างนั้น โดยพลังงานที่วัดได้จะสะท้อนถึงความเหนียวและความต้านทานต่อแรงกระแทกของวัสดุนั้น ๆ

3. วัตถุประสงค์ของการทดสอบด้วยแรงกระแทก

- เพื่อวัดความต้านทานของวัสดุต่อแรงกระแทกหรือแรงกะทันหัน
- เพื่อประเมินความเหนียว (**Toughness**) ของวัสดุ
- เพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องรับแรงกระแทกสูง
- เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแตกหักของวัสดุในสภาวะกระแทก
- เพื่อป้องกันความล้มเหลวหรืออุบัติเหตุที่เกิดจากแรงกระแทกในงานวิศวกรรม

4. ลักษณะของการทดสอบด้วยแรงกระแทก

- ใช้ชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดและรูปร่างกำหนด เช่น แบบสี่เหลี่ยมมีรอยกรีดตรงกลาง
- ปล่อยตุ้มเหล็กที่มีน้ำหนักกำหนดให้กระแทกตัวอย่าง
- ตัวอย่างจะดูดซับพลังงานบางส่วนจากแรงกระแทกก่อนที่จะแตกหัก
- เครื่องทดสอบจะวัดพลังงานที่ถูกดูดซับ (**Energy absorbed**) ซึ่งบ่งบอกความเหนียวของวัสดุ
- ทดสอบได้ในหลายอุณหภูมิ เพื่อดูพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ เช่น การเปลี่ยนจากเปราะเป็นเหนียว

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

ขั้นตอนการทดสอบด้วยแรงกระแทก

1. เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง
    - ตัดชิ้นงานให้มีขนาดตามมาตรฐาน เช่น ขนาด 55 x 10 x 10 มิลลิเมตร (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้)
    - ทำรอยกรีด (notch) ที่ชิ้นงานตรงกลาง เช่น รอยกรีดรูปตัว V หรือ U ขนาดและมุมตามกำหนด เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นการแตกหัก

2. ตรวจสอบเครื่องทดสอบ
    - ตรวจสอบเครื่องทดสอบแรงกระแทก เช่น เครื่อง Charpy Impact Tester ให้พร้อมใช้งาน
    - ตรวจสอบตุ้มเหล็กให้มีน้ำหนักและความสูงถูกต้องตามมาตรฐาน
    - ตรวจสอบระบบวัดพลังงาน (เช่น มาตรวัดจูล) ว่าทำงานได้ปกติ

3. ติดตั้งชิ้นงานในเครื่อง
    - วางชิ้นงานลงในแท่นยึดตัวอย่าง โดยให้รอยกรีดหันไปทางด้านที่ตุ้มจะกระแทก
    - ยึดชิ้นงานให้แน่นและมั่นคง เพื่อไม่ให้ขยับขณะทดสอบ

4. ปล่อยตุ้มเหล็กกระแทกชิ้นงาน
    - ปล่อยตุ้มเหล็กจากตำแหน่งสูงที่กำหนดให้กระแทกตัวอย่าง
    - ตุ้มจะชนชิ้นงานและทำให้ชิ้นงานแตกหัก

5. วัดพลังงานที่ชิ้นงานดูดซับ
    - เครื่องจะบันทึกพลังงานที่ถูกใช้ไปในการทำลายชิ้นงาน (Energy absorbed) ในหน่วยจูล (J)
    - พลังงานนี้สะท้อนความเหนียวและความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ

6. วิเคราะห์ผลการทดสอบ
    - เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้กับมาตรฐานหรือค่าที่กำหนด
    - ประเมินวัสดุว่าสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีหรือไม่
    - บันทึกผลและรายงานผลการทดสอบ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

ประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบด้วยแรงกระแทก

1. ประโยชน์ของการทดสอบด้วยแรงกระแทก
    - ประเมินความเหนียวของวัสดุ เพื่อดูว่าวัสดุสามารถดูดซับพลังงานจากแรงกระแทกได้มากน้อยแค่ไหน
    - ป้องกันความเสียหายและอุบัติเหตุ โดยช่วยเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องเผชิญกับแรงกระแทกหรือแรงกระทันหัน
    - วิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหัก ของวัสดุในสภาวะต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิต่ำ ที่วัสดุอาจเปลี่ยนจากเหนียวเป็นเปราะ
    - ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ให้มีความปลอดภัยและทนทานต่อแรงกระแทกในงานวิศวกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องบิน และโครงสร้างอาคาร
    - ใช้ในการควบคุมคุณภาพวัสดุ เพื่อให้มั่นใจว่าวัสดุที่นำมาใช้งานมีคุณสมบัติครบถ้วนและเหมาะสมตามมาตรฐาน

2. คุณค่าของการทดสอบด้วยแรงกระแทก
    - เป็นการทดสอบที่รวดเร็วและคุ้มค่าในการประเมินความทนทานของวัสดุ
    - ช่วยในการคาดการณ์อายุการใช้งานของวัสดุในสภาพแวดล้อมจริงที่มีแรงกระแทก
    - ช่วยในการวิจัยและพัฒนาวัสดุใหม่ ๆ ที่มีคุณสมบัติเหนียวและทนต่อแรงกระแทกสูง
    - เป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยวิศวกรและนักออกแบบตัดสินใจเลือกวัสดุที่เหมาะสมและปลอดภัย

3. ความสำคัญของการทดสอบด้วยแรงกระแทก
    - ช่วยป้องกันความล้มเหลวของชิ้นงานที่อาจทำให้เกิดความเสียหายใหญ่หรืออุบัติเหตุร้ายแรง
    - สำคัญต่อการเลือกใช้วัสดุในงานที่ต้องรับแรงกระแทก เช่น โครงสร้างสะพาน รถยนต์ เครื่องบิน เครื่องจักรหนัก
    - เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพและการรับรองมาตรฐานวัสดุในอุตสาหกรรมต่าง ๆ
    - ช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการเปราะและการเหนียวของวัสดุภายใต้สภาวะกระแทกจริง
    - ลดต้นทุนและเพิ่มความปลอดภัยในงานก่อสร้างและอุตสาหกรรมโดยรวม

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

การใช้ประโยชน์จากการทดสอบด้วยแรงกระแทกในวิชาชีพและการดำรงชีวิต

1. ในวิชาชีพด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรม

การออกแบบและเลือกวัสดุ : วิศวกรใช้ข้อมูลแรงกระแทกเพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับงานที่ต้องรับแรงกะทันหัน เช่น การออกแบบโครงสร้างอาคาร สะพาน หรือชิ้นส่วนยานยนต์

การควบคุมคุณภาพวัสดุ : ตรวจสอบคุณภาพวัสดุที่ผลิตหรือซื้อมา เพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุนั้นมีความเหนียวและทนแรงกระแทกได้ตามมาตรฐาน

การประเมินความปลอดภัย : ใช้ข้อมูลจากการทดสอบเพื่อประเมินความเสี่ยงและป้องกันความล้มเหลวของชิ้นงานที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรง

พัฒนาวัสดุใหม่ : นักวิจัยและนักพัฒนาวัสดุใช้ข้อมูลนี้เพื่อปรับปรุงหรือคิดค้นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวและทนแรงกระแทกสูงขึ้น

2. ในการดำรงชีวิตประจำวัน

การเลือกใช้วัสดุและผลิตภัณฑ์ : ผู้บริโภคสามารถเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงและปลอดภัยมากขึ้น เช่น หมวกกันน็อคที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทกเพื่อป้องกันศีรษะ

ความปลอดภัยในบ้านและชุมชน : การเลือกวัสดุก่อสร้างที่มีความเหนียวทนต่อแรงกระแทก ช่วยลดความเสียหายจากเหตุการณ์ไม่คาดฝัน เช่น แผ่นพื้นหรือผนังที่ไม่แตกง่าย

การป้องกันอุบัติเหตุและการบาดเจ็บ : ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก เช่น อุปกรณ์ป้องกันกีฬา หรือชิ้นส่วนรถยนต์ ช่วยลดความรุนแรงของอุบัติเหตุ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 2

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายขั้นตอนหลักในการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy ตั้งแต่การเตรียมชิ้นงานจนถึงการอ่านค่า

.....

.....

.....

2. ยกตัวอย่างอย่างน้อย 1 สถานการณ์ที่นำผลการทดสอบแรงกระแทกมาใช้ในชีวิตประจำวันหรืองานวิศวกรรม และอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลที่ 2

1. อธิบายขั้นตอนหลักในการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy ตั้งแต่การเตรียมชิ้นงานจนถึงการอ่านค่า
คำตอบ: การทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy มีขั้นตอนหลักดังนี้

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบ ให้มีขนาดตามมาตรฐาน (เช่น 55 x 10 x 10 มม.) พร้อมทำรอยกรีดรูปตัว V ตรงกลางชิ้นงาน
2. ตั้งค่าหรือเตรียมเครื่องทดสอบ Charpy ให้พร้อม เช่น ตรวจสอบตุ้มเหล็กว่าหนักและยกสูงได้ตามกำหนด
3. ติดตั้งชิ้นงานบนเครื่อง โดยให้รอยกรีดหันไปทางด้านที่ตุ้มจะกระแทก
4. ปล่อยตุ้มเหล็กให้กระแทกชิ้นงาน จากตำแหน่งที่กำหนด
5. เครื่องจะวัดและแสดงค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับได้ ซึ่งแสดงถึงความเหนียวหรือความสามารถในการต้านแรงกระแทกของวัสดุ
6. บันทึกผลและวิเคราะห์ข้อมูล ตามความเหมาะสม เช่น เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

2. ยกตัวอย่างอย่างน้อย 1 สถานการณ์ที่นำผลการทดสอบแรงกระแทกมาใช้ในชีวิตประจำวันหรืองานวิศวกรรม และอธิบายเหตุผล
คำตอบ:

หนึ่งในตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ การออกแบบกันชนรถยนต์

ในการออกแบบกันชน วิศวกรต้องเลือกใช้วัสดุที่สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีเมื่อเกิดอุบัติเหตุ เพื่อช่วยลดแรงที่ส่งไปยังผู้โดยสารภายในรถ

วัสดุที่ใช้จะต้องผ่านการทดสอบแรงกระแทกเพื่อให้มั่นใจว่า มีความเหนียวพอ และไม่เปราะแตกง่าย

การนำผลการทดสอบมาใช้ช่วยให้รถมีความปลอดภัยมากขึ้น และลดความเสียหายหรือการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ขับขี่และผู้โดยสารได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 2

เรื่อง การทดสอบด้วยแรงกระแทก

ให้นักเรียนศึกษาบทเรียนเรื่อง “การทดสอบด้วยแรงกระแทก” แล้วตอบคำถามต่อไปนี้ให้ครบถ้วน

เติมคำในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. การทดสอบแรงกระแทกเป็นการวัดความสามารถของวัสดุในการ _____
2. พลังงานที่วัสดุดูดซับจากแรงกระแทกจะวัดในหน่วย _____
3. เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบที่นิยมใช้ ได้แก่ _____
4. ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกมักมีรอยกรีดรูปตัว _____ หรือ _____
5. การทดสอบแรงกระแทกสามารถใช้ประเมินคุณสมบัติของวัสดุในสภาพอุณหภูมิ _____ ได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก**	**หน่วยที่ 2** **สอนครั้งที่ 3-4** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 2

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. การทดสอบด้วยแรงกระแทกมีวัตถุประสงค์อะไร?
   - ก. เพื่อวัดความแข็งของวัสดุ
   - ข. เพื่อวัดความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ
   - ค. เพื่อวัดความเหนียวของวัสดุ
   - ง. เพื่อวัดความต้านทานการกัดกร่อน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแรงกระแทกที่นิยมใช้มากที่สุดคืออะไร?
   - ก. เครื่องวัดแรงดึง
   - ข. เครื่องทดสอบแรงกระแทกชาร์ปี (Charpy Impact Tester)
   - ค. เครื่องทดสอบแรงอัด
   - ง. เครื่องทดสอบความแข็ง
3. ในทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact Test) ชิ้นตัวอย่างจะถูกตัดเป็นรูปแบบใด?
   - ก. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
   - ข. รูปทรงกระบอก
   - ค. มีรอยกรีดตรงกลาง
   - ง. ไม่มีรอยกรีด
4. หน่วยของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแรงกระแทกมักจะใช้หน่วยใด?
   - ก. นิวตัน (N)
   - ข. จูล (J)
   - ค. เมตร (m)
   - ง. ปาสกาล (Pa)
5. ข้อใดต่อไปนี้ไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการทดสอบแรงกระแทก?
   - ก. อุณหภูมิของตัวอย่าง
   - ข. ความเร็วของแรงกระแทก
   - ค. สีของวัสดุ
   - ง. ขนาดและรูปร่างของตัวอย่าง

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 2

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบการเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 2 : การทดสอบด้วยแรงกระแทก	หน่วยที่ 2 สอนครั้งที่ 3-4 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 2

ข้อที่	คำตอบ
1.	ข
2.	ข
3.	ค
4.	ข
5.	ค

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 3

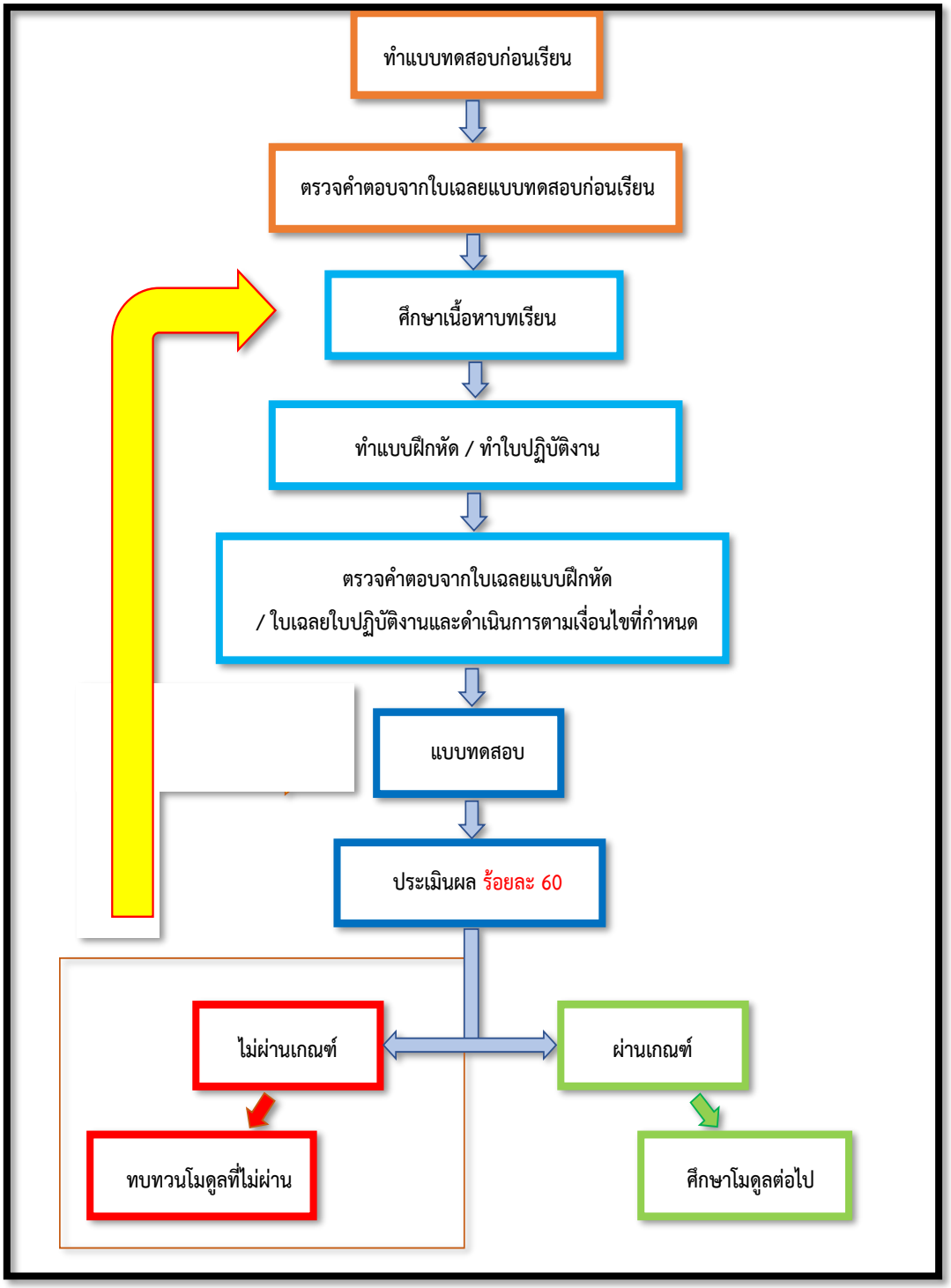
เรื่อง การทดสอบด้วยการตีหัก

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 3

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการบริการวิชาชีพงานตรวจสอบและทดสอบงานเชื่อม ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชา การบริการวิชาชีพงานตรวจสอบและทดสอบงานเชื่อม เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 3

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 3

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก**	**หน่วยที่ 3** **สอนครั้งที่ 5-6** **ชั่วโมงรวม 8**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 3

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายนี้ ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายเสียก่อน เพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายและเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบด้วยการตีหัก

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบด้วยการตีหัก

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบด้วยการตีหัก

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก**	**หน่วยที่ 3** **สอนครั้งที่ 5-6** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 3

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. จุดประสงค์หลักของการทดสอบด้วยการตีหักคืออะไร?
   - ก. ตรวจสอบความแข็งของวัสดุ
   - ข. หาค่าความทนต่อการกัดกร่อน
   - ค. หาค่าความเหนียวและความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกของวัสดุ
   - ง. วัดความสามารถในการนำไฟฟ้า
2. เครื่องมือใดใช้ในการทดสอบด้วยการตีหักแบบชาร์ปี (Charpy Test)?
   - ก. เครื่องทดสอบแรงดึง
   - ข. เครื่องทดสอบความแข็ง
   - ค. เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี
   - ง. เครื่องวัดความร้อน
3. การทดสอบด้วยการตีหัก มักใช้หน่วยใดในการวัดค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับ?
   - ก. นิวตัน (N)
   - ข. จูล (J)
   - ค. วัตต์ (W)
   - ง. ปาสกาล (Pa)
4. ลักษณะสำคัญของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงกระแทกคืออะไร?
   - ก. ชิ้นงานมีรอยตะเข็บ
   - ข. มีรอยกรีดตรงกลาง เช่น รูปตัว V หรือ U
   - ค. ไม่มีรอยใด ๆ
5. ข้อใดคือตัวอย่างของการนำผลการทดสอบด้วยการตีหักไปใช้งานจริง?
   - ก. ใช้เลือกสีของโลหะให้เหมาะสม
   - ข. ใช้ในการทดสอบแรงดันอากาศในระบบท่อ
   - ค. ใช้ออกแบบกันชนรถยนต์ให้ดูดซับแรงกระแทกได้ดี
   - ง. ใช้ในการคำนวณน้ำหนักรถบรรทุก

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 3

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 3

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ข
4.	ข
5.	ค

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก**	**หน่วยที่ 3** **สอนครั้งที่ 5-6** **ชั่วโมงรวม 8**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมาย หลักการ วัตถุประสงค์ วิธีการ ขอบเขตของการทดสอบการตีหักได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบการตีหักได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบการตีหักได้
4. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย
5. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบการตีหักแล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

ใบความรู้

หน่วยที่ 3 การทดสอบด้วยการตีหัก

2.3. การทดสอบด้วยการตีหัก (Nick-break Test)

2.3.1. หลักการทดสอบด้วยการตีหัก

การทดสอบตีหักแนวเชื่อม (Nick-break Test) จะใช้ทดสอบหาความสมบูรณ์ของเนื้อเชื่อม (Sound Weld Metal) ในงานเชื่อมท่อและงานเชื่อมแผ่น ต่อชนและต่อฟิลเลต โดยมีกำหนดไว้ในวิธีการเตรียมชิ้นทดสอบและกรรมวิธีการทดสอบ (Procedure) ตามมาตรฐานการทดสอบสมบัติเชิงกลของงานเชื่อม ANSI/AWS B4.0 และมาตรฐานงานเชื่อมท่อน้ำมันและท่อแก๊ส API 1104 ส่วนขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ (Acceptance Criteria) มาตรฐาน ANSI/AWS B4.0 ไม่ได้กำหนดไว้ ต้องพิจารณาตามข้อกำหนดขอบเขตการยอมรับตามมาตรฐาน API 1104

2.3.2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบตีหัก (Nick-break Test)

1) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของเนื้อเชื่อม (Sound Weld Metal) เพื่อประเมินความถูกต้องของเทคนิคการเชื่อมและการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็น ในแต่ละกระบวนการเชื่อมสำหรับใช้เชื่อมต่อชนและเชื่อมต่อฟิลเลต งานเชื่อมแผ่นและงานเชื่อมท่อ งานเชื่อมแฟลชต่อชน งานเชื่อมอัดด้วยแรงดัน (Pressure Welds) และเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

2) เพื่อทดสอบหาจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อม เช่น สแลกฝังใน (Slag Inclusion), ฟองหรือโพรงอากาศ (Gas Pockets), การหลอมลายรวมตัวของโลหะเชื่อมกับเนื้อโลหะงานไม่สมบูรณ์ (Poor Fusion), การเกิดออกไซด์ในเนื้อเชื่อม

3) เพื่อใช้พิสูจน์ผลการตรวจสอบที่ได้รับจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ

2.3.3. เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบวิธีตีหัก (Nick-break Test)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สามารถจับยึดปลายชิ้นทดสอบด้านหนึ่ง หรือสองด้านได้อย่างมั่นคง เช่นปากกาจับยึดชิ้นงานตั้งโต๊ะ ในกรณีตีหักด้วยค้อน (Hammer)

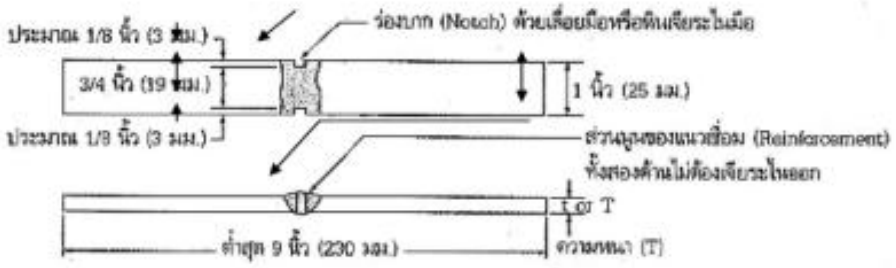
การทดสอบตีหักอาจทำการทดสอบด้วยการใช้แรงดึง (Tension) หรือหักชิ้นทดสอบด้วยการดัดด้วยแรง 3 จุด (Three Point Bending)

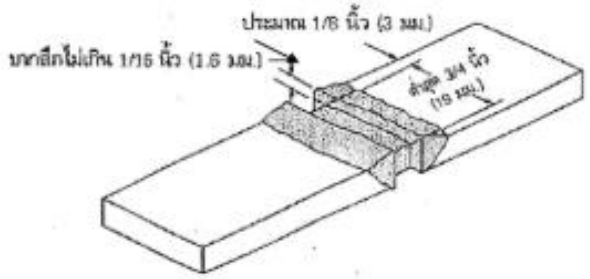
รูปที่ 2.3-1 แสดงปากกาจับยึดชิ้นงานตั้งโต๊ะ ในกรณีตีหักด้วยค้อน (Hammer)

2.3.4. การเตรียมชิ้นทดสอบ (Preparation Specimens)

1) ชิ้นทดสอบงานเชื่อมต่อชน (Specimens from Butt Welds) เตรียมชิ้นทดสอบตีหัก Nick-break Test จะต้องตัดจากรอยต่อเชื่อมและโลหะงานเป็นรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก(Rectangular Cross Section) ใช้ตัดด้วยวิธีกล หรือ ตัดด้วยแปลวไฟ ที่ขอบของชิ้นทดสอบจะต้อง ลบแต่งเรียบขนานกัน และตรงกลางเนื้อเชื่อมด้านข้างจะต้องทำร่องบาก ด้านข้าง ด้วยเลื่อยมือ เลื่อยกลหรือใช้หินเจียระไนแผ่นบาง ลึก 1/8 นิ้ว (3 มิลลิเมตร) และบากทั้งกลางแนวเชื่อมตัดขวางกับความกว้างของส่วนเสริมความแข็งแรงด้านหน้าแนวเชื่อมที่เรียกว่า Weld Reinforcement ลึกไม่เกิน 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร) โดยไม่ต้องเจียระไนส่วนนูนผิวหน้าและรอยนูนด้านหลอมเหลวลึกด้านหลังของแนวเชื่อมออก

รูปที่ 2.3-2 แสดงชิ้นทดสอบตีหักต่อชน





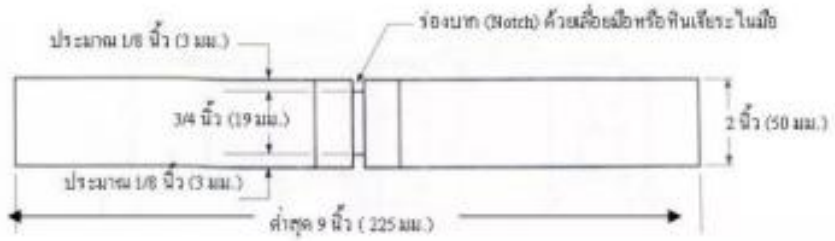
รูปที่ 2.3-3 แสดงชิ้นทดสอบเต็มขนาด (Full-Sized Specimens)

2) ชิ้นทดสอบเต็มขนาด (Full-Sized Specimens)

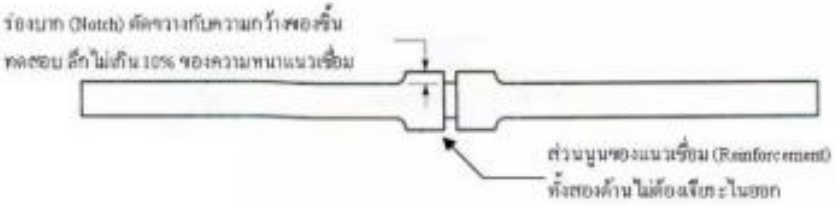
ชิ้นงานเชื่อมขนาดเล็กอาจใช้ชิ้นทดสอบเท่าขนาดงานจริง และทำร่องบาก (Notch) ที่ขอบเนื้อเชื่อม ลึกประมาณ 1/8 นิ้ว (3 มิลลิเมตร) และทำร่องบาก (Notch) ตัดขวางกับส่วนเสริมความแข็งแรงด้านหน้าแนวเชื่อม และต้องเขียนรายงาน ลึก 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร) ตามรูปที่ 2.3-3 การเตรียมชิ้นทดสอบนี้อาจแก้ไขปรับปรุงได้ตามความเหมาะสม และต้องบันทึกรูปร่างลักษณะของชิ้นทดสอบไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย

3) ชิ้นทดสอบตีหัก 2 นิ้วงานเชื่อมแฟลชต่อชน (Two-inch Specimens of Flash Butt Welds) ทำการตัดชิ้นทดสอบจากรอยต่อและโลหะงานเป็นรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก ใช้ตัดด้วยวิธีกล, ตัดด้วยแปลวไฟ หรือตัดด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม ตามรูปที่ 2.3-4 ด้านข้างรอยต่อเชื่อมของชิ้นทดสอบควรจะต้องตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro-etched) เพื่อที่จะได้เห็นแนว

ต่อได้ชัดเจน และให้ทำการบากร่องด้านข้างตามแนวรอยต่อของชิ้นทดสอบที่หบ ด้วยเลื่อยมือ เลื่อยกลหรือใช้หินเจียระไนแผ่นบาง หรือใช้เครื่องมือตัดอื่นๆ ที่เหมาะสม ลึกประมาณ 1/8 นิ้ว (3 มิลลิเมตร) แต่อย่างไรก็ตามความลึกของร่องบากต้องมีระยะไม่เกิน 10% ของความหนาของเนื้อเชื่อม



รูปที่ 2.3-4 แสดงชิ้นทดสอบดีหักเชื่อมต่อชน



รูปที่ 2.3-5 แสดงชิ้นทดสอบ 2 นิ้ว ดีหักเชื่อมแฟลชต่อชน

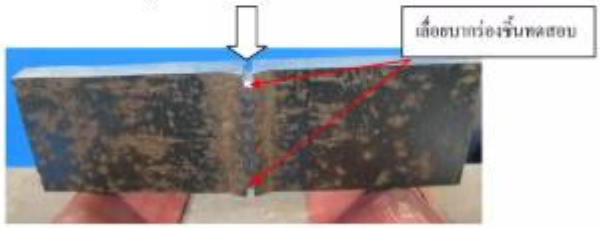
2.3.5. วิธีการทดสอบ (Procedure)

1) การทดสอบการดีหักกลางแนวเชื่อม

การทดสอบด้วยวิธีนี้ คือ จับยึดปลายชิ้นทดสอบด้านหนึ่งให้แน่นและดีหักกลางแนวเชื่อมด้านตรงข้ามด้วยค้อนหรือรองชิ้นทดสอบที่ปลายด้านหนึ่งแล้วใช้ค้อนดีหักกลางชิ้นทดสอบอีกด้านหนึ่ง หรือจับชิ้นทดสอบปลายข้างหนึ่งด้วยปากกาและใช้ค้อนลีหักปลายอีกด้านหนึ่งกลับไปกลับมาเป็นมุม 180° จนกระทั่งชิ้นทดสอบแตกหัก ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3-6 ถึงรูปที่ 2.3-8

(ก) (ข)

รูปที่ 2.3-6 แสดงการทดสอบตีหักแนวเชื่อมด้วยค้อน



รูปที่ 2.3-7 แสดงการทดสอบตีหักด้วยวิธีการรองปลายชิ้นทดสอบบนแท่นรองและตีหักกลางด้านตรงข้าม

รูปที่ 2.3-8 แสดงการทดสอบตีหักด้วยวิธีการรองขอบ หรือปลายชิ้นทดสอบบนทั่ง

2) การดึงชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

รูปที่ 2.3-9 แสดงการดึงชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์

2.3.6. ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบการตีหัก (Acceptance Criteria)

ในส่วนของการทดสอบรับรองช่างเชื่อม (Qualification of Welder) กำหนดว่าชิ้นงานเชื่อมจะต้องผ่านการเชื่อมจากช่างเชื่อมชำนาญงาน ก่อนการทดสอบ Nick-break Test จะต้องทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (Visually Examination) เพื่อค้นหาจุดบกพร่องของแนวเชื่อม ซึ่งจะต้องไม่ปรากฏพบจุดบกพร่องเหล่านี้คือ การหลอมเหลวรอยต่อเชื่อมไม่สมบูรณ์ (Incomplete Joint Penetration) การหลอมเหลวรวมตัวระหว่างเนื้อโลหะงานกับเนื้อเชื่อมไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) การหลอมทะลุ (Burn-through) รอยแตกร้าว (Cracks)

กรณีที่พบจุดบกพร่อง แต่ต้องพิจารณาว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับหรือไม่ก็คือ การเกิดการกัดขอบหรือเกิดรอยแหว่งที่ขอบแนวเชื่อม (Undercut) ด้านนอกของแนวเชื่อมปกคลุม จะต้องเกิดลึกไม่เกิน 1/32 นิ้ว (0.8 มิลลิเมตร) หรือลึกไม่เกิน 12.5% ของความหนาผนังท่อแล้วแต่ว่าค่าไหนจะมีค่าต่ำกว่าก็ใช้ค่านั้น

กรณีที่เกิดการกัดขอบหรือเกิด Undercut เป็นแนวยาวต่อเนื่อง ความยาวนั้นรวมกันแล้วจะต้องไม่เกิน 2 นิ้ว (50 มิลลิเมตร) ต่อช่วงความยาวแนวเชื่อมทั้งหมด 12 นิ้ว (300 มิลลิเมตร)

เมื่อผ่านการเกณฑ์ยอมรับการตรวจสอบด้วยสายตาจึงนำไปทำการทดสอบตีหัก Nick-break Test ตามกรรมวิธีต่างๆ จนกระทั่งชิ้นทดสอบแตกหักจากกัน จากนั้นจึงประเมินผลการทดสอบโดยพิจารณาผิวรอยแตกหัก ซึ่งข้อกำหนดขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบตีหัก Nick-break Test มาตรฐาน API 1104 (2005, p.9) กำหนดเกณฑ์ยอมรับขั้นต่ำไว้ ดังนี้

3) การทดสอบงานเชื่อมต่อชน (Testing of Welded Joint–Butt Weld)

1. ตรวจสอบด้วยสายตาแล้วจะต้องปรากฏว่า ผิวรอยหัก จะต้องมีการหลอมเหลวลึก (Penetration) ตลอดด้านล่างของรอยต่อและมีการหลอมเหลวรอยต่อระหว่างเนื้อเชื่อมกับเนื้อโลหะงานเข้าด้วยกันอย่างสมบูรณ์

2. ขนาดฟองอากาศ หรือโพรงอากาศ (Gas Pocked) จะต้องมีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร) และผลรวมของฟองหรือโพรงอากาศที่พบทั้งหมดรวมกันแล้วจะต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 2% ของพื้นที่หน้าตัดรอยหักของชิ้นทดสอบ

3. ขนาดของสแลกหรือสารฝังใน (Slag Inclusion) จะต้องมีขนาดลึกไม่เกิน 1/32 นิ้ว (0.8 มิลลิเมตร) ยาวไม่เกิน 1/8 นิ้ว (3 มิลลิเมตร) หรือมีความยาวไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาผนังท่อ แล้วแต่ว่าค่าไหนต่ำกว่าก็ถือค่านั้นเป็นเกณฑ์

4. บริเวณที่ถัดจากแนวที่เกิดสแลกฝังใน (Slag Inclusion) จะต้องมีความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมถัดออกมาไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว (13 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.3-10

4) การทดสอบงานเชื่อมต่อฟิลเลต (Testing of Welded Joint – Fillet Weld)

การทดสอบให้แนวเชื่อมแตกหักโดยวิธีการใดๆ ก็ได้แล้วแต่สะดวกซึ่งรวมถึงวิธีการทดสอบตีหัก Nick-break Test ด้วย และได้กำหนดเกณฑ์ยอมรับผลการทดสอบขั้นต่ำไว้ ดังนี้

1. ผิวรอยหักแนวเชื่อมของชิ้นทดสอบจะต้องมีการหลอมเหลวลึก (Penetration) และการหลอมเหลวเข้าด้วยกัน (Fusion) อย่างสมบูรณ์

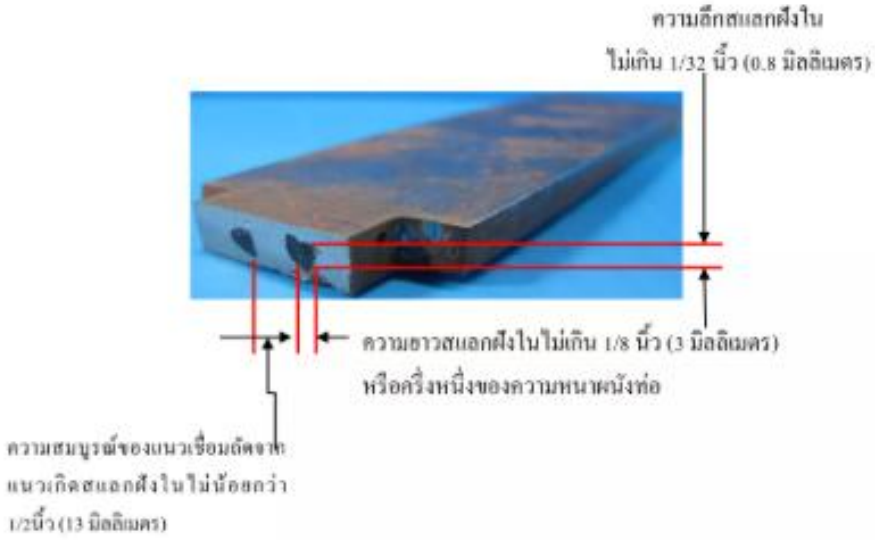
2. ฟองอากาศหรือโพรงอากาศ (Gas Pocket) ให้พิจารณาดังนี้

2.1 ฟองอากาศขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร)

2.2 ฟองอากาศทั้งหมด รวมกันต้องมีพื้นที่ไม่เกิน 2% ของพื้นรอยหักของชิ้นทดสอบ

2.3 สแลกฝังใน (Slag Inclusion) จะต้องมีขนาดลึก (Depth) ไม่เกิน 1/32 นิ้ว (0.8 มิลลิเมตร) และความยาว (Length) ไม่เกิน 1/8 นิ้ว (3 มิลลิเมตร) หรือ สแลกฝังใน (Slag Inclusion) มีขนาดความยาวไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาผนังท่อ แล้วแต่ว่าค่าไหนต่ำกว่าก็เอาค่านั้นเป็นเกณฑ์

2.4 บริเวณที่ถัดจากแนวที่เกิดสแลกฝังใน (Slag Inclusion) จะต้องมีความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมถัดออกมาไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว (12.5 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.3-10



รูปที่ 2.3-10 แสดงขนาดเกณฑ์การยอมรับรุลบกพร่อง ผิวรอยหักชิ้นทดสอบ Nick-break Test

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 3

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบด้วยการตีหัก และเครื่องมือที่ใช้

.....
.....
.....

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบด้วยการตีหักมีอะไรบ้าง

.....
.....
.....

3. อธิบายขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปทดสอบแรงกระแทก

.....
.....
.....

4. เปรียบเทียบลักษณะของวัสดุที่มีความเหนียวสูง กับวัสดุที่เปราะ เมื่อถูกทดสอบด้วยการตีหัก

.....
.....
.....

5. ยกตัวอย่างการนำผลการทดสอบแรงกระแทกไปใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือชีวิตประจำวัน พร้อมอธิบายเหตุผล

.....
.....
.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก**	**หน่วยที่ 3** **สอนครั้งที่ 5-6** **ชั่วโมงรวม 8**

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลที่ 3

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบด้วยการตีหัก และเครื่องมือที่ใช้

การทดสอบด้วยการตีหัก เป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยวัดความสามารถในการดูดซับพลังงานเมื่อวัสดุถูกแรงกระแทกอย่างรวดเร็ว เครื่องมือที่ใช้คือ เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy) หรือ แบบอิโซด (Izod) ซึ่งจะปล่อยตุ้มเหล็กมากระแทกชิ้นงานที่มีรอยกรีดตรงกลาง แล้ววัดค่าพลังงานที่วัสดุใช้ก่อนแตกหัก

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบด้วยการตีหักมีอะไรบ้าง?

1. เพื่อวัดความเหนียว (Toughness) ของวัสดุ
2. เพื่อประเมินความสามารถของวัสดุในการดูดซับพลังงานก่อนแตก
3. เพื่อแยกแยะพฤติกรรมของวัสดุที่เหนียวและเปราะ
4. เพื่อทดสอบความเหมาะสมของวัสดุในการใช้งานที่มีแรงกระแทก
5. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุในสภาพอุณหภูมิต่าง ๆ

3. อธิบายขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปทดสอบแรงกระแทก

1. ตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน เช่น 55 x 10 x 10 มม.
2. เจาะหรือกรีดรอย Notch (รอยบาก) รูปตัว V หรือ U ตรงกลางชิ้นงาน
3. ตรวจสอบรอยกรีดให้ได้มุมและความลึกตามมาตรฐาน
4. วัดขนาดด้วยเวอร์เนียหรือไมโครมิเตอร์
5. หากต้องการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ ให้นำไปแช่ในตู้เย็นก่อน
6. บันทึกข้อมูลชิ้นงานก่อนทดสอบ

4. เปรียบเทียบลักษณะของวัสดุที่มีความเหนียวสูง กับวัสดุที่เปราะ เมื่อถูกทดสอบด้วยการตีหัก

วัสดุที่มีความเหนียวสูง เช่น เหล็กเหนียว หรือทองแดง จะสามารถดูดซับพลังงานจากแรงกระแทกได้มากก่อนแตก ชิ้นงานอาจโค้งงอก่อนแตก และแตกแบบไม่เฉียบพลัน

วัสดุที่เปราะ เช่น เซรามิก หรือแก้ว จะแตกทันทีเมื่อรับแรงกระแทก โดยไม่ดูดซับพลังงานมาก และแตกแบบเฉียบพลัน โดยใช้พลังงานน้อย

5. ยกตัวอย่างการนำผลการทดสอบแรงกระแทกไปใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือชีวิตประจำวัน พร้อมอธิบายเหตุผล ในการผลิตกันชนรถยนต์ผู้ผลิตจะเลือกวัสดุที่มีค่าพลังงานจากการทดสอบแรงกระแทกสูงเพื่อให้สามารถดูดซับแรงชนได้เมื่อเกิดอุบัติเหตุ ผลการทดสอบช่วยให้เลือกวัสดุที่ปลอดภัย ลดความเสียหายและบาดเจ็บของผู้โดยสารได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ผลทดสอบเลือกวัสดุในอุตสาหกรรมเครื่องจักร และโครงสร้างอาคารได้อีกด้วย

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 3

เรื่อง การทดสอบด้วยการตีหัก

1. ให้นักเรียนวางชิ้นงานบนแท่นรองในเครื่องทดสอบ โดยจัดให้รอยบากอยู่ฝั่งตรงข้ามกับทิศการตี

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก**	**หน่วยที่ 3** **สอนครั้งที่ 5-6** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 3

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. จุดประสงค์หลักของการทดสอบด้วยการตีหักคืออะไร?
   - ก. ตรวจสอบความแข็งของวัสดุ
   - ข. หาค่าความทนต่อการกัดกร่อน
   - ค. หาค่าความเหนียวและความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกของวัสดุ
   - ง. วัดความสามารถในการนำไฟฟ้า
2. เครื่องมือใดใช้ในการทดสอบด้วยการตีหักแบบชาร์ปี (Charpy Test)?
   - ก. เครื่องทดสอบแรงดึง
   - ข. เครื่องทดสอบความแข็ง
   - ค. เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี
   - ง. เครื่องวัดความร้อน
3. การทดสอบด้วยการตีหัก มักใช้หน่วยใดในการวัดค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับ?
   - ก. นิวตัน (N)
   - ข. จูล (J)
   - ค. วัตต์ (W)
   - ง. ปาสกาล (Pa)
4. ลักษณะสำคัญของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงกระแทกคืออะไร?
   - ก. ชิ้นงานมีรอยตะเข็บ
   - ข. มีรอยกรีดตรงกลาง เช่น รูปตัว V หรือ U
   - ค. ไม่มีรอยใด ๆ
5. ข้อใดคือตัวอย่างของการนำผลการทดสอบด้วยการตีหักไปใช้งานจริง?
   - ก. ใช้เลือกสีของโลหะให้เหมาะสม
   - ข. ใช้ในการทดสอบแรงดันอากาศในระบบท่อ
   - ค. ใช้ออกแบบกันชนรถยนต์ให้ดูดซับแรงกระแทกได้ดี
   - ง. ใช้ในการคำนวณน้ำหนักรถบรรทุก

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการดัดหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 3

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 3 : การทดสอบด้วยการตีหัก	หน่วยที่ 3 สอนครั้งที่ 5-6 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 3

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ข
4.	ข
5.	ค

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 4

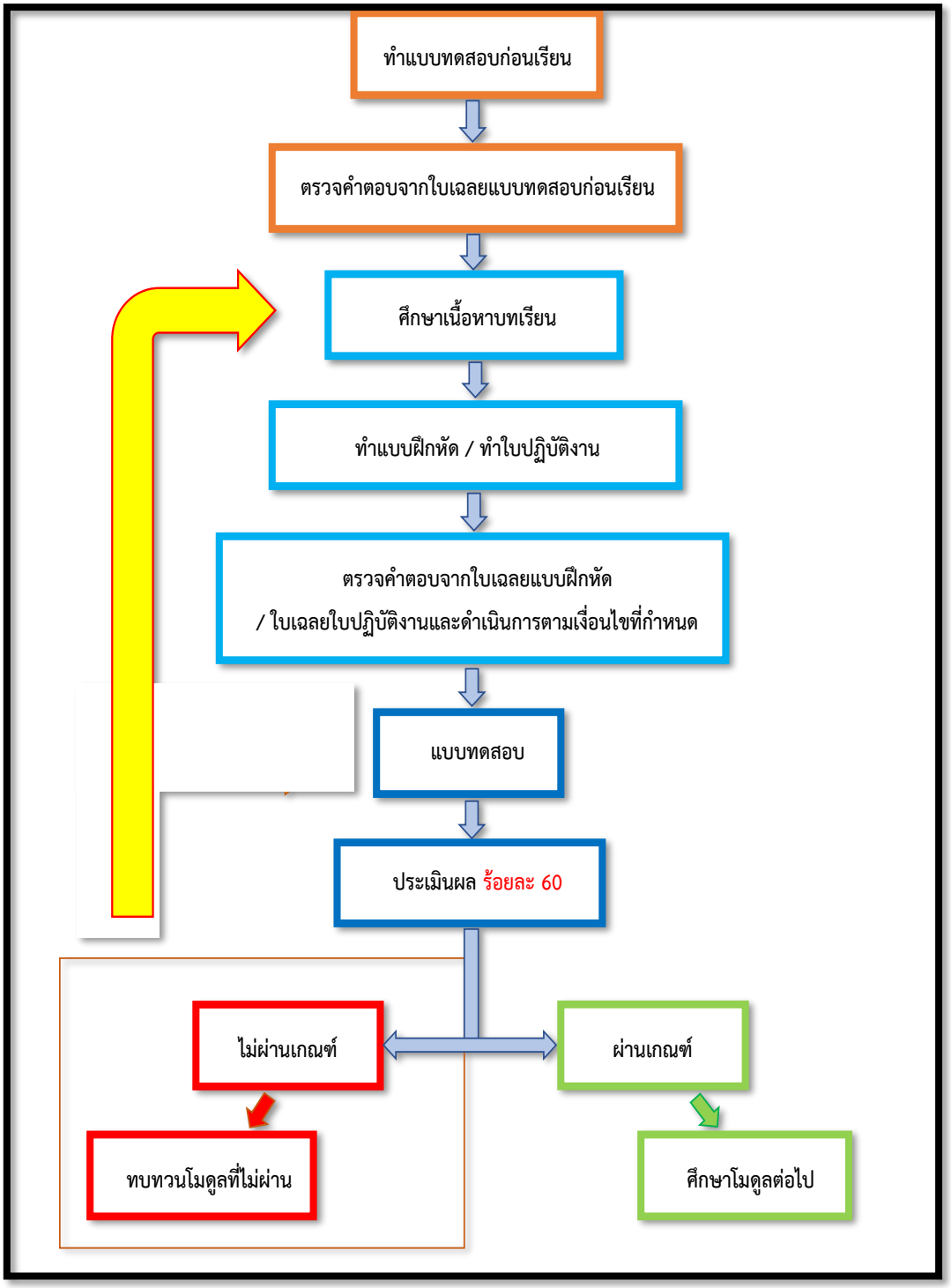
เรื่อง การทดสอบด้วยการดัดงอ

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 4

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชา วิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 4

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 4

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 4

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายนี้ ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายเพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายและเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบด้วยการดัดงอ

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบด้วยการดัดงอ

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบด้วยการดัดงอ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 4

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. ข้อใดคือ วัตถุประสงค์หลัก ของการทดสอบด้วยการดัดงอ?
   - ก. ตรวจสอบขนาดของแนวเชื่อม
   - ข. ตรวจสอบสีของโลหะหลังการเชื่อม
   - ค. ตรวจสอบความแข็งแรงและคุณภาพของแนวเชื่อม

2. ในการทดสอบดัดงอแบบ Face Bend Test จะทำการดัดงอชิ้นงานโดยให้ส่วนใดอยู่ด้านที่ถูกงอ?
   - ก. ด้านหลังของแนวเชื่อม
   - ข. ด้านข้างของแนวเชื่อม
   - ค. ด้านรากแนวเชื่อม
   - ง. ด้านหน้าของแนวเชื่อม

3. อุปกรณ์ใดที่ ไม่ใช่ เครื่องมือหลักในการทดสอบการดัดงอ?
   - ก. เครื่องดัดงอ (Bend Test Machine)
   - ข. ชุดจับยึดชิ้นงาน (Fixture)
   - ค. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
   - ง. แม่พิมพ์ดัดงอ (Bend Die)

4. การทดสอบดัดงอสามารถบ่งบอกถึงข้อใด มากที่สุด เกี่ยวกับแนวเชื่อม?
   - ก. ค่าความต้านทานไฟฟ้า
   - ข. การแตกร้าวหรือข้อบกพร่องที่ผิวของแนวเชื่อม
   - ค. สีของเนื้อเชื่อม
   - ง. ความหนาของแนวเชื่อม

5. หากชิ้นงานมีความหนามาก นิยมใช้การทดสอบดัดงอแบบใด?
   - ก. Face Bend Test
   - ข. Root Bend Test
   - ค. Side Bend Test
   - ง. Flat Bend Test

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 4

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 4

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ง
3.	ค
4.	ข
5.	ค

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

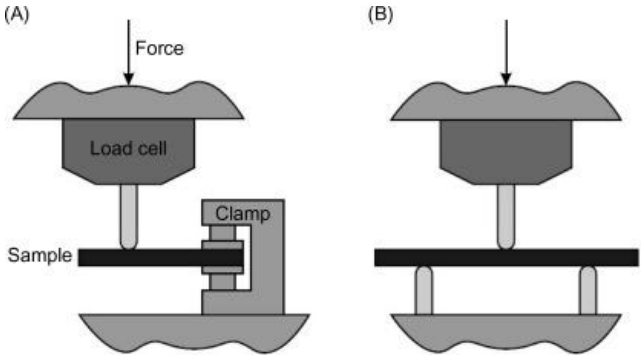
1. อธิบายความหมาย หลักการ วัตถุประสงค์ วิธีการของการทดสอบด้วยการดัดงอได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบด้วยการดัดงอได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบด้วยการดัดงอได้
4. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย
5. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบด้วยการดัดงอแล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

ใบความรู้

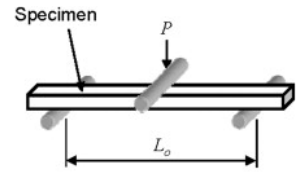
หน่วยที่ 4 การทดสอบด้วยการดัดงอ

การทดสอบด้วยการดัดงอ คือ การประเมินความเหนียวและความทนทานของวัสดุ โดยเฉพาะงานเชื่อม ว่าสามารถรับแรงดัดงอได้ดีหรือไม่ มีหลักการคือการให้ชิ้นทดสอบรับแรงดัดจนเกิดความโค้งตามที่กำหนด และสังเกตการแตกร้าวที่ผิวด้านนอก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพวัสดุและควบคุมคุณภาพการผลิต มีวิธีการทดสอบแบบต่าง ๆ เช่น การรับน้ำหนักสามจุด การรับน้ำหนักสี่จุด และการรับน้ำหนักแบบคานยื่นธรรมดา ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะสำหรับการดัดงอ เช่น เครื่องทดสอบการดัดงอ

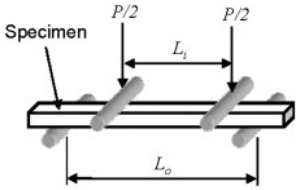


4.1 หลักการทดสอบด้วยการดัดงอ

หลักการพื้นฐานคือการให้ชิ้นทดสอบ ซึ่งอาจเป็นวัสดุหรือรอยเชื่อม ได้รับแรงดัดงอด้วยรัศมีความโค้งที่กำหนด จนเกิดการเสียรูปในลักษณะโค้งงอ. จากนั้นจึงตรวจสอบดูความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะบริเวณผิวด้านนอกที่ถูกดัดให้โค้ง ว่ามีรอยร้าวหรือแตกหักปรากฏขึ้นหรือไม่



Three-Point Loading

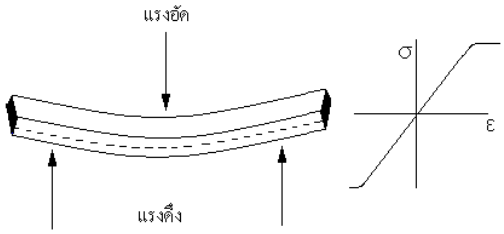


Four-Point Loading

การทดสอบแรงดัดงอ (Bending test)

การทดสอบแรงดัดงอคืออะไร การทดสอบแรงดัดงอเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการทดสอบแบบอัตราเร็วคงที่ ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบพลาสติก และมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ เนื่องจากวิธีนี้จะไม่ค่อยมีปัญหาซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์ระหว่างชิ้นงานและเครื่องทดสอบเหมือนการทดสอบแรงดึง นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรงยังถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่จะเสียหายอีกด้วย อย่างไรก็ตาม สภาพของแรงที่เกิดขึ้นทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกันในการทดสอบแรงดึงนั้น ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด (**unifrom tension)** แต่ในการทดสอบแรงดัดงอ ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากในสภาวะที่ชิ้นงานถูกดัดงอนั้น ชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงสูงสุดบนผิว ผิวหนึ่งและได้รับแรงอัดบนผิวตรงกันข้าม

โดยทั่วไปแล้วการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดงอนี้จะถูกต้องในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดงอล้วน ๆ เท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช้ทดสอบที่ระดับความเครียดเกิน **5%**



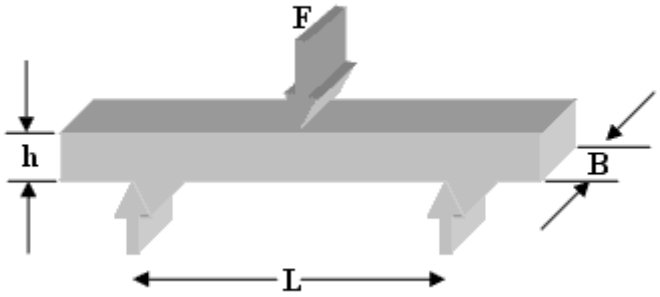
ภาพที่ **1 :** หลักการทดสอบแรงดัดงอ

โดยทั่วไป การทดสอบการดัดงอแบ่งได้เป็น **2** ประเภท ได้แก่การดัดงอแบบ **3** จุด (**three-pointed bending)**และการทดสอบแบบ **4** จุด (**four-pointed bending)**

การทดสอบการดัดงอแบบ 3 **จุด**

การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรับรองในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ใช้ให้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (**round knike edges)** หรือเพลาโลหะแข็งก็ได้ รัศมีของหัวกด และชุดให้แรงกระทำต้องมีรัศมีอย่างต่ำ **3.2** มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน **4** เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับหัวกด และ **1.5** เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชุดรองรับ การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อเป็นการลดความเข้มของความเค้น (**stress concentration)** ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิด

การแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนขอระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1



ภาพที่ 2 : การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด

ตารางที่ 1 สูตรการคำนวณในการทดสอบแรงดัดงอแบบ 3 จุด

พื้นที่หน้าตัด	สี่เหลี่ยม	ทรงกระบอก
ความเค้น	$\sigma = \frac{3FL}{2Bh^2}$	$\sigma = \frac{8FL}{\pi D^3}$
ความเครียด	$\varepsilon = \frac{6Yh}{L^2}$	$\varepsilon = \frac{6YD}{L^2}$
มอดูลัส	$E = \frac{L^3}{4Bh^3}\left(\frac{F}{Y}\right)$	$E = \frac{4L^3}{3\pi D^4}\left(\frac{F}{Y}\right)$

โดยที่

F คือ แรงกระทำ

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน (span length)

h คือ ความหนา

B คือ ความกว้าง

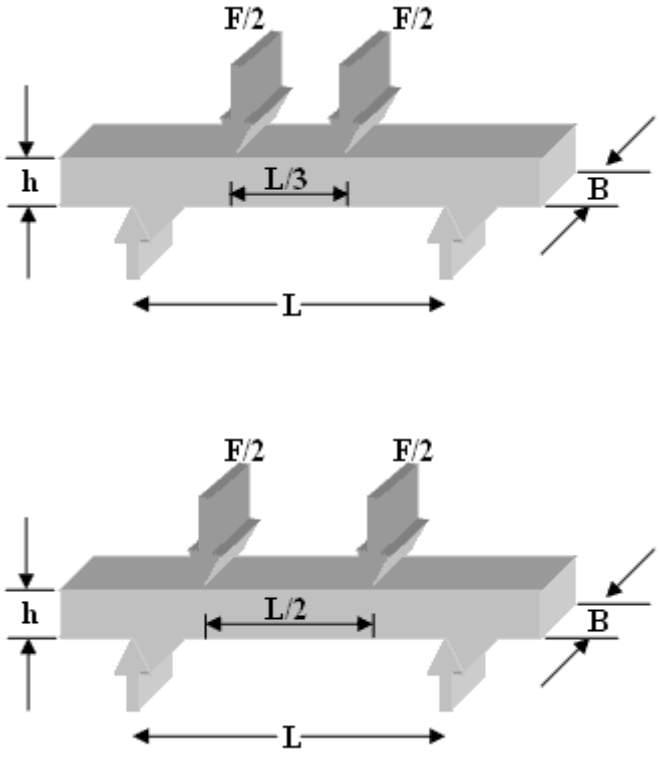
Y คือ ระยะการดัดงอของชิ้นงาน

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกต้น

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่าง FและY ในวงเล็บจะเท่ากับความชันในช่วงแรกของกราฟ ที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการดัดงอของชิ้นงานในช่วงแรกที่กราฟยังเป็นเส้นตรง

การดัดงอแบบ 4 **จุด**

การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่2จุดในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงกว่าในกรณีของการทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด หัวกดที่ให้ภาระและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมนหรือเพลาโลหะแข็งเช่นเดียวกับการทดสอบแบบ 3 จุด แต่รัศมีของหัวกดและชุดให้ภาระจะมีค่าเท่ากันโดยจะต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นงานทดสอบ ระยะห่างระหว่างชุดกดและชุดรองรับในการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบ 1/3 และแบบ 1/4 การจัดระยะ 1/3 หมายถึง ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ-จุดกดและระหว่างจุดกดทั้งสองมีค่าเท่ากันคือ 1/3 ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่การจัดระยะแบบ 1/4 หมายถึงระยะห่างระหว่างจุดรองรับและจุดกดมีค่าเท่ากับ 1/4 ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่ระยะห่างระหว่างจุดกดทั้งสองเท่ากับ 2/4 เท่าของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ทั้งนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองหรือระยะสแปนสามารถกำหนดได้โดยจากอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นงานทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16 : 1 ถึง 60 : 1



ภาพที่3 : การทดสอบการดัดงอแบบ 4 จุด

ตารางที่ 2 สูตรการคำนวณในการทดสอบแรงดัดงอแบบ 4 จุด

พื้นที่หน้าตัด	สี่เหลี่ยม		ทรงกระบอก	
	1/3 ของระยะสแปน	1/4 ของระยะสแปน	1/3 ของระยะสแปน	1/4 ของระยะสแปน
ความเค้น	$\sigma = \frac{FL}{Bh^2}$	$\sigma = \frac{3FL}{4Bh^2}$	$\sigma = \frac{16FL}{3\pi D^3}$	$\sigma = \frac{4FL}{\pi D^3}$
ความเครียด	$\varepsilon = \frac{4.70Yh}{L^2}$	$\varepsilon = \frac{4.36Yh}{L^2}$	$\varepsilon = \frac{4.70YD}{L^2}$	$\varepsilon = \frac{4.36YD}{L^2}$
มอดูลัส	$E = \frac{0.21L^3}{Bh^3}\left(\frac{F}{Y}\right)$	$E = \frac{0.17L^3}{Bh^3}\left(\frac{F}{Y}\right)$	$E = \frac{1.12L^3}{\pi D^4}\left(\frac{F}{Y}\right)$	$E = \frac{0.91L^3}{\pi D^4}\left(\frac{F}{Y}\right)$

โดยที่

F คือ แรงกระทำ

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน (span length)

h คือ ความหนา

B คือ ความกว้าง

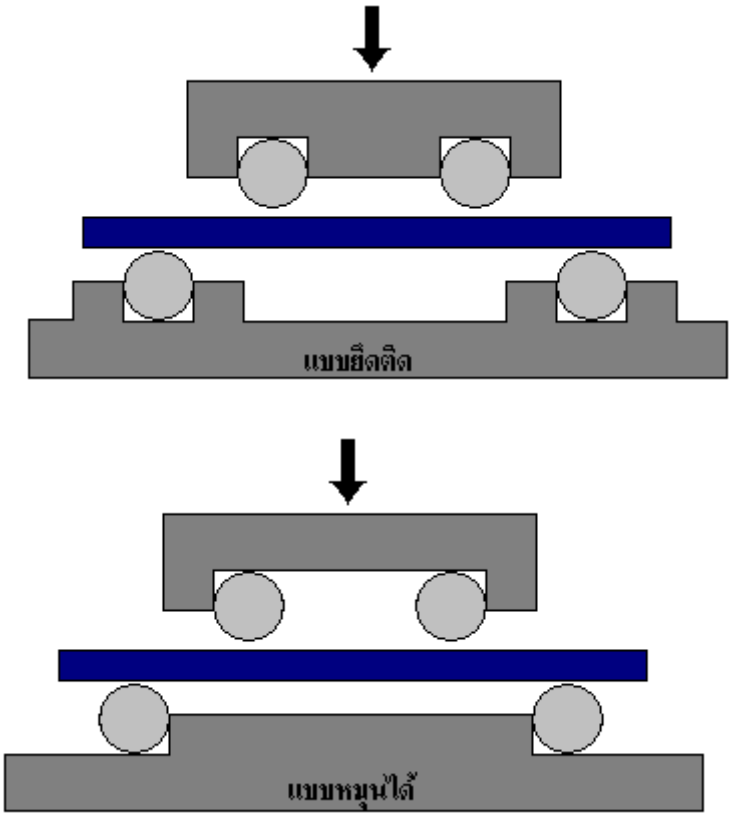
Y คือ ระยะการดัดงอของชิ้นงาน

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกต้น

ลักษณะชิ้นงานสำหรับการทดสอบการดัดงอทั้งแบบ 3 จุดและ 4 จุดนั้นจะอยู่ในลักษณะของคาน โดยอาจจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ในการเตรียมชิ้นงานนั้น ชิ้นงานที่ได้จะต้องมีขนาดตรงตามที่กำหนดไว้ พื้นผิวจะต้องมีความขนานและไม่มีจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ นอกจากนี้สำหรับวัสดุบางประเภท เช่นเซรามิก บริเวณขอบของชิ้นงานอาจจะมีการทำให้มนโค้งหรือปาดทำมุม (chamfer) เพื่อลดความเข้มของความเค้นในบริเวณดังกล่าว

ชิ้นงานในการทดสอบแรงดัดงอจะไม่ถูกจับยึดแต่อย่างใด แต่จะถูกวางอยู่ตรงกลางบนแท่นรองรับระหว่างจะรับแรงสองจุด จากนั้นชิ้นงานจะถูกกดด้วยแท่นกดจากด้านบนซึ่งจะมีจำนวนจุดรองรับแรงกดขึ้นอยู่กับลักษณะของการทดสอบ โดยจุดรองรับในการส่งผ่านแรงกดชิ้นงานทุกจุดจะต้องมีความโค้งมนเพื่อลดความเข้มความเค้นในบริเวณนั้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการแตกหักในบริเวณจุดกดนั้นได้ นอกจากนี้จุดรับแรงกดทั้งหมดสามารถที่จะเป็นแบบยึดติดโดยไม่สามารถหมุนได้ หรืออาจจะมีลักษณะที่หมุนตัวได้บ้างเพื่อที่จะลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับ ซึ่งจะมีผลต่อผลการทดสอบได้

ภาพที่ 4 : ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบแรงดัดงอ



ภาพที่ **5 :** ลักษณะของอุปกรณ์จับยึดสำหรับการดัดงอแบบ **4** จุด

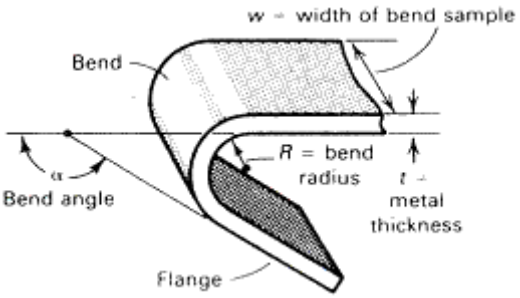
4.2 การทดสอบการดัดโค้ง (Bending Test)

การทดสอบการดัดโค้ง เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการแปรรูปของวัสดุหลังจากทำการดัดโค้ง โดยพิจารณาดูว่าที่ผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบตรงบริเวณที่ทำการดัดโค้งเกิดรอยแตกขึ้นหรือไม่ หลังจากทำการดัดโค้งชิ้นทดสอบด้วยรัศมีความโค้งที่กำหนด จนได้มุมตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบ

หลักการในการทดสอบการดัดโค้ง คือ ใช้วิธีใดก็ได้ในการดัดชิ้นวัสดุทดสอบซึ่งอาจมีหน้าตัดเป็นวงกลม, สี่เหลี่ยม หรือรูปทรงหลายเหลี่ยม ให้ได้รัศมีความโค้งตามที่กำหนดไว้ หรือให้ได้มุมตามที่กำหนด โดยทิศทางของแรงที่ใช้ในการดัดโค้งต้องคงที่ และการให้แรงในการดัดโค้งต้องเป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่ของชิ้นทดสอบในแนวข้าง หลังจากชิ้นทดสอบโค้งงอไปตามที่กำหนดแล้ว ทำการตรวจสอบดูว่าที่พื้นผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบตรงบริเวณที่ดัดโค้ง ซึ่งจะเป็นบริเวณที่รับความเค้นแรงดึงในระหว่างการดัดโค้ง มีรอยแตกเกิดขึ้นหรือไม่ จะเห็นได้ว่าหลักการของการทดสอบการดัดโค้ง แตกต่างจากการทดสอบสมบัติเชิงกลประเภทอื่นๆ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาในเชิงปริมาณ คือ ได้ค่าสมบัติเชิงกลออกมาเป็นตัวเลข เช่น ค่าความแข็ง,ความเค้นจุดคราก ในขณะที่ผลจากการทดสอบการดัดโค้งจะเป็นผลในเชิงคุณภาพ คือพิจารณาแค่ชิ้นทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์การทดสอบหรือไม่ คือสามารถผ่านการดัดโค้งตามที่กำหนดไว้ในการทดสอบ โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิวด้านนอกเนื่องจากความเค้นแรงดึง ได้หรือไม่

การพิจารณาว่าชิ้นทดสอบผ่านการทดสอบการดัดโค้งนั้นหรือไม่นั้นพิจารณาจากการตรวจสอบดูที่ผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบว่าไม่มีรอยแตก การตรวจสอบอาจทำโดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า หรืออาจใช้กล้องที่มีกำลังขยายไม่เกิน **20** เท่า(ปกติจะกำหนดให้ใช้ตาเปล่า)

สำหรับชิ้นงานที่มีอัตราส่วน ความกว้าง/ความหนา มากกว่า **8** ขึ้นไป ถ้าตรวจพบรอยแตกที่ขอบ **(edge)** ของชิ้นทดสอบ ให้ทำการขัดขอบของชิ้นทดสอบที่แตกนั้นให้เรียบ แล้วทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง



ภาพที่ **1 :** ชิ้นงานทดสอบการดัดโค้ง

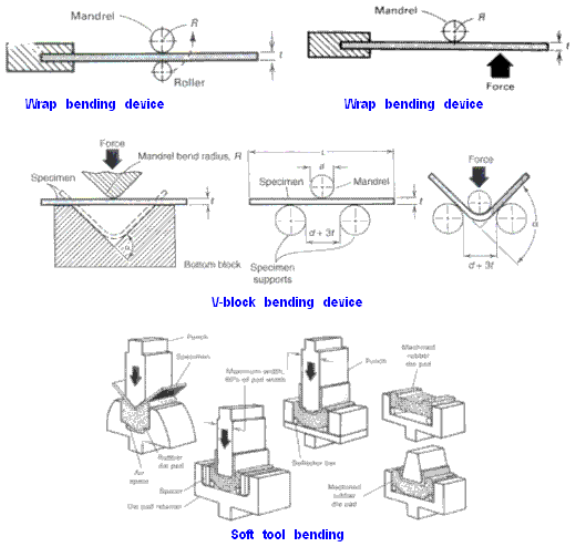
เมื่อทำการดัดโค้งด้วยมุม **(bending angle)** ที่เท่ากัน วัสดุที่มีความสามารถในการดัดโค้งที่ดีกว่าจะสามารถทำการดัดโค้งโดยใช้รัศมีการดัดโค้ง **(bending radius)** ที่เล็กกว่าได้โดยไม่เกิดรอยแตกขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อทำการดัดโค้งด้วยรัศมีการดัดโค้ง **(bending radius)** ที่คงที่ วัสดุที่มีความสามารถในการดัดโค้งที่ดีกว่าจะสามารถทำการดัดโค้งได้ด้วยมุม **(bending angle)** ที่มากกว่าจึงจะเกิดรอยแตกขึ้น

รัศมีการดัดโค้งที่ต่ำที่สุด **(minimum bend radius)** คือ รัศมีการดัดโค้งที่น้อยที่สุด ที่จะสามารถใช้ในการทำการดัดโค้งได้โดยที่ไม่เกิดรอยแตกที่พื้นผิวของวัสดุ โดยปกติแล้วรัศมีการดัดโค้งที่ต่ำที่สุด **(minimum bend radius)** จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาของชิ้นงาน ดังนั้นโดยมากมักจะรายงานค่ารัศมีการดัดโค้งที่ต่ำที่สุดโดยการบอกเป็นจำนวนเท่าของความหนาของวัสดุ **(t)** เช่น วัสดุที่มีรัศมีการดัดโค้งที่ต่ำที่สุด = **3t** ก็คือวัสดุที่สามารถทำการดัดโค้งด้วยรัศมีการดัดโค้งที่มากกว่า **3** เท่าของความหนาได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว ค่ารัศมีการดัดโค้งที่ต่ำที่สุด ไม่ใช่สมบัติที่เป็นค่าคงที่ของวัสดุ เนื่องมาจากความสามารถของผู้ตรวจสอบรอยแตกในการตรวจพบรอยแตกที่เริ่มเกิดขึ้นไม่เท่ากัน และการใช้รัศมีการดัดโค้งในการทดสอบได้ไม่ต่อเนื่องและเหมือนกัน เนื่องจากจำกัดอยู่ที่ รัศมีของ **mandrel** ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการดัดโค้งของวัสดุ ข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบกันได้นั้นจะต้องมาจากการทดสอบที่ใช้วิธีการทดสอบแบบเดียวกัน,ผู้ตรวจสอบรอยแตกคนเดียวกัน และใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดเท่ากัน ตลอดจนใช้รัศมีการดัดโค้ง **(bending radius)** และมุมดัดโค้ง **(bending angle)** ที่เท่ากันด้วย ข้อมูลจึงจะสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการทดสอบการดัดโค้ง นั้นไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัว เนื่องจากการทดสอบไม่ซับซ้อนยุ่งยาก และไม่ต้องการความละเอียดของเครื่องมือมากนัก ขอแค่สามารถทำการดัดโค้งชิ้นทดสอบด้วยรัศมีต่างๆตามที่กำหนดไว้ หรือดัดโค้งไปด้วยมุม **(bending angle)** ที่ต้องการ เมื่อกำหนดรัศมีการดัดโค้ง **(bending radius)** ที่คงที่ ได้ก็เพียงพอแล้ว โดยทั่วไปเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการ

ทดสอบการดัดโค้ง เช่น pin , roller และ mandrel นั้นควรจะมีความยาวยาวกว่า ความกว้างของชิ้นทดสอบ และจะต้องมีความแข็งแรง และแข็งเกร็ง เพียงพอที่จะทนต่อการแปรรูปและการสึกหรอในระหว่างทำการดัดโค้งได้



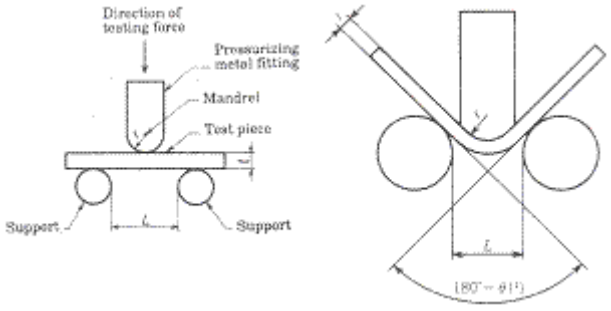
ภาพที่ 2 : อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการทดสอบการดัดโค้ง แบบต่างๆ

วิธีการทดสอบการดัดโค้ง

เราสามารถเลือกวิธีการทดสอบการดัดโค้งได้หลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะแตกต่างกันในรายละเอียด แต่จะมีหลักการในการทดสอบที่เหมือนกัน วิธีทดสอบการดัดโค้งที่นิยมใช้กันโดยทั่วๆ ไปมี 3 วิธี ได้แก่

1. แบบ pressing bend

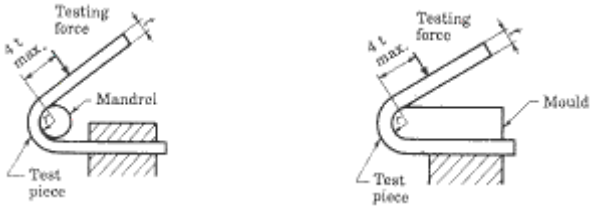
การทดสอบทำโดย นำชิ้นทดสอบมาวางอยู่บนตัวฐานรอง ซึ่งควรจะเป็นทรงกระบอกที่มีรัศมีความโค้งไม่ต่ำกว่า 10 มม. แล้วค่อยๆเพิ่มแรงในการกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อทำการดัดโค้งชิ้นงาน ระยะห่างระหว่างฐานรองที่ใช้ในการทดสอบ = 2r + 3t โดยที่ r คือ รัศมีการดัดโค้ง และ t คือ ความหนา หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ ส่วนปลายของ mandrel จะต้องเป็นทรงกระบอก ที่มีรัศมีความโค้งเท่ากับรัศมีการดัดโค้งที่ต้องการจะทำการทดสอบ



ภาพที่ 3 : Pressing bending method

2. แบบ **Winding bend**

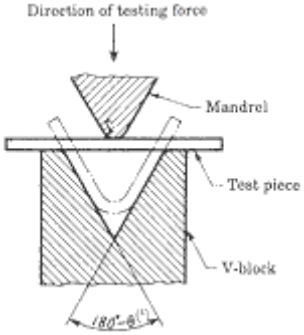
การทดสอบทำโดย ค่อยๆเพิ่มแรงที่ใช้ในการม้วนชิ้นทดสอบรอบๆ **mandrel** ตามที่กำหนดไว้ โดยการที่กดยึดปลายด้านหนึ่งของชิ้นทดสอบไว้ และทำการดัดโค้งที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดการดัดโค้งรอบ **mandrel** ดังรูป



ภาพที่ **4 : Winding bending method**

3. แบบ **V-block bend**

การทดสอบทำโดย นำชิ้นทดสอบมาวางอยู่บนฐานรูปตัววี ดังรูป แล้วค่อยๆ เพิ่มแรงกดผ่าน **mandrel** ลงตรงกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อทำการดัดโค้งชิ้นงานให้ได้ตามที่กำหนดไว้



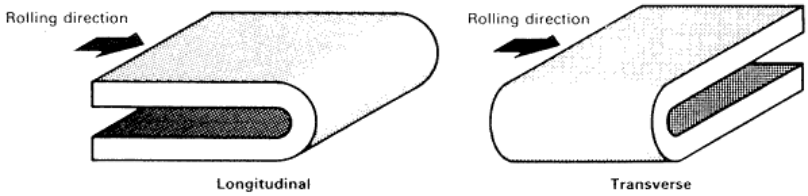
ภาพที่ **5 : V-block bending method**

ชิ้นงานในการทดสอบการดัดโค้ง

ชิ้นงานที่มีรูปทรงเป็นแผ่น และท่อนจะสามารถตัดมาทำการทดสอบได้เลย แต่สำหรับชิ้นงานที่มีหน้าตัดเป็นรูปหลายเหลี่ยม (**polygonal section**) ในบางกรณี ชิ้นทดสอบอาจจะหนาเกินกว่าที่อุปกรณ์ยึดจับจะจับได้ หรือเครื่องที่จะทำการทดสอบการดัดโค้งอาจจะมีกำลังไม่สูงพอ จึงต้องมีการกลึงไส หรือขัดให้ผิวด้านหนึ่งเรียบลง โดยใช้ด้านที่ไม่ได้ถูกกลึงเป็นผิวด้านนอกที่จะต้องรับแรงดึงในระหว่างทำการทดสอบการดัดโค้ง ขอบของชิ้นงานที่ทำการตัดมา อาจทำการตะไบหรือขัดด้วยสายพานให้ผิวเรียบลงได้ โดยรัศมีของขอบของชิ้นงานควรจะมีขนาดรัศมีมากกว่า **1/10** ของความหนาของชิ้นงานขึ้นไป แต่สำหรับชิ้นงานที่มีอัตราส่วนความกว้าง/ความหนา มากกว่า **8** ไม่มีความจำเป็นจะต้องเตรียมขอบให้เรียบลง ยกเว้นในกรณีที่เกิดรอยแตกขึ้นที่มุม ในระหว่างการทดสอบการดัดโค้ง

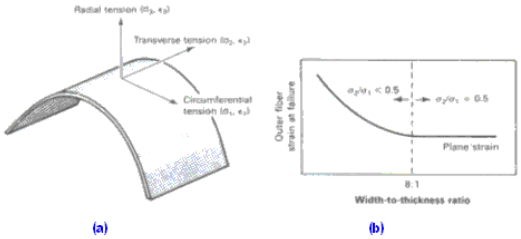
สำหรับความยาวของชิ้นทดสอบ สำหรับการทดสอบแบบ **Wrap bending** และ **Wipe bending** ชิ้นทดสอบจะต้องมีความยาวพอที่จะสามารถจับได้โดยไม่เกิดการเลื่อนไถล แต่สำหรับการทดสอบแบบ **V-block bending** ขอแค่มีความยาวเกินกว่าระยะระหว่างฐานรองก็สามารถทำการทดสอบได้

ชิ้นงานที่นำมาทดสอบการดัดโค้งจะเตรียมมาจากแนวใดก็ได้ แต่โดยปกติชิ้นงานที่เตรียมในแนวตั้งฉากกับแนวรีด จะมีความเหนียวต่ำกว่าชิ้นงานที่เตรียมในแนวขนานกับแนวรีด



ภาพที่ 6 : ชิ้นงานทดสอบการดัดโค้งที่เตรียมมาจากแนวต่างๆ

สำหรับชิ้นงานที่มีอัตราส่วน ความกว้าง/ความหนา ต่ำกว่า 8 สภาวะการทดสอบจะเป็นแบบความเค้นระนาบ ซึ่งค่าความต้านทานการดัดโค้งจะขึ้นกับ อัตราส่วนความกว้าง/ความหนา ดังรูปที่ 7แต่สำหรับชิ้นงานที่มีอัตราส่วน ความกว้าง/ความหนา มากกว่า 8 ขึ้นไป การดัดโค้งที่เกิดขึ้นจะอยู่ในสภาวะของความเครียดระนาบ และความต้านทานการดัดโค้งจะไม่ขึ้นกับ อัตราส่วนความกว้าง/ความหนา ดังนั้น การทดสอบการดัดโค้งจึงมักจะกำหนดขนาดชิ้นงานให้มีอัตราส่วน ความกว้าง/ความหนา มากกว่า 8 ขึ้นไป เพื่อกำจัดผลของขนาดของชิ้นงาน ที่จะมีต่อการทดสอบ



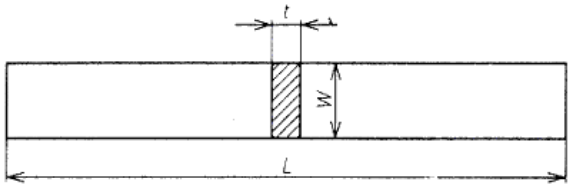
ภาพที่ 7 : ความเค้นและความเครียดในการทดสอบการดัดโค้ง

- ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่ทดสอบการดัดโค้ง
- กราฟระหว่างความเครียดและ อัตราส่วนความกว้าง/ความหนา

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าปกติเราจะไม่ค่อยมีข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดของชิ้นทดสอบการดัดโค้งมากนัก แต่อย่างไรก็ดี ตามมาตรฐาน JIS Z 2204 ได้แบ่งชิ้นทดสอบสำหรับการดัดโค้ง ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

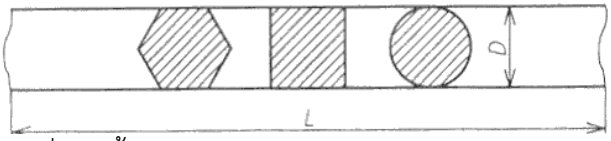
1.) ชิ้นทดสอบประเภทแผ่นที่มีความหนา (t) ตั้งแต่ 3 มม. ขึ้นไป โดยความกว้าง (w) ของชิ้นทดสอบที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 20 - 50 มม. ถ้าวัสดุมีความกว้างไม่ถึงตามที่กำหนดก็ให้ใช้ความกว้างสูงสุดที่สามารถเตรียมได้ ส่วนความยาวนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นทดสอบ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ถ้าวัสดุมีความหนามากกว่า 25 มม. สามารถที่จะทำการกลึงไสผิวด้านหนึ่งให้มีความหนาลดลงได้ตามแต่ความเหมาะสมกับอุปกรณ์การทดสอบ แต่ต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 25 มม. และในการทดสอบ ให้ใช้ด้านที่ไม่ได้ทำการกลึงไสมาเป็นผิวด้านนอกที่รับแรงดึงในระหว่างทำการดัดโค้ง

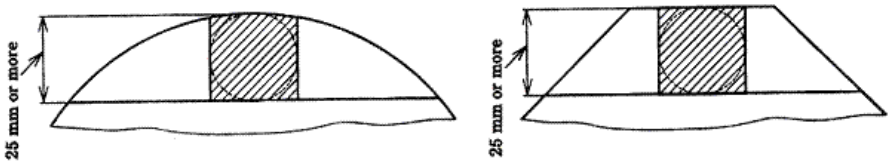


ภาพที่ **8 :** ชิ้นงานทดสอบประเภทแผ่น

2.) ชิ้นทดสอบท่อน **(bar)** ดังแสดงในรูปที่ **9** โดยค่า **D** ซึ่งเป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง (สำหรับชิ้นงานที่มีหน้าตัดเป็นวงกลม) หรืออาจเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของรูปหลายเหลี่ยม (สำหรับชิ้นงานที่มีหน้าตัดเป็นรูปหลายเหลี่ยม) ถ้าวัสดุมีค่า **D** มากกว่า **30** มม. สามารถที่จะทำการกลึงไสให้มีขนาดเล็กลง แต่ต้องมี **D** หลังทำการกลึงไสไม่ต่ำกว่า **25** มม. ดังรูปที่ **10** และในการทดสอบ ให้ใช้ด้านที่ไม่ได้ทำการกลึงไสมาเป็นผิวด้านที่รับแรงดึงในระหว่างทำการดัดโค้ง ส่วนความยาวของชิ้นทดสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับค่า **D** ของชิ้นทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ **9 :** ชิ้นงานทดสอบประเภท **bar** ก่อนทำการกลึงไส



ภาพที่ **10 :** ชิ้นงานทดสอบประเภท **bar** หลังจากทำการกลึงไสแล้ว

3.) ชิ้นทดสอบสำหรับทำการทดสอบ วัสดุพวก **plate** หรือ **strip** ที่มีความหนาต่ำกว่า **3** มม. ลงไป โดยความกว้างของชิ้นทดสอบจะใช้อยู่ระหว่าง **15 -50** มม. โดยถ้าวัสดุมีความกว้างไม่ถึงตามที่กำหนดก็ให้ใช้ความกว้างสูงสุดที่สามารถเตรียมได้ ส่วนความยาวนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นทดสอบ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 4

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบด้วยการดัดงอ และสิ่งที่สามารถสังเกตได้จากการทดสอบนี้

.....

.....

.....

2. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบ Face Bend Test และ Root Bend Test จงเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทดสอบทั้งสองแบบ

.....

.....

.....

3. จงบอกชื่ออุปกรณ์ที่สำคัญในการทดสอบการดัดงออย่างน้อย 3 ชนิด พร้อมอธิบายหน้าที่ของแต่ละอุปกรณ์โดยย่อ

.....

.....

.....

4. เพราะเหตุใดจึงต้องมีการทดสอบการดัดงอในงานเชื่อมโลหะและหากพบรอยแตกร้าวหลังการดัดงอ ควรสรุปผลว่าอย่างไร

.....

.....

.....

5. จากภาพหรือชิ้นงาน (หากมีให้ดู) ให้สังเกตและวิเคราะห์ว่า แนวเชื่อมมีข้อบกพร่องจากการทดสอบการดัดงอหรือไม่ พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ

.....

.....

.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลที่ 4

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบด้วยการดัดงอ และสิ่งที่สามารถสังเกตได้จากการทดสอบนี้

ตอบ การทดสอบด้วยการดัดงอคือการออกแรงกับชิ้นงานให้โค้งงอจนถึงมุมที่กำหนด โดยไม่ทำให้เกิดการแตกหัก เพื่อดูว่าชิ้นงานหรือแนวเชื่อมมีความแข็งแรง ทนทาน และยืดหยุ่นเพียงใด
สิ่งที่สามารถสังเกตได้คือ รอยแตกร้าว รอยแยก ฟองอากาศ หรือข้อบกพร่องบนแนวเชื่อม ซึ่งบ่งชี้ถึงคุณภาพของการเชื่อม

2. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบ Face Bend Test และ Root Bend Test

ตอบ

รายการเปรียบเทียบ	Face Bend Test	Root Bend Test
ด้านที่ถูกงอ	ด้านหน้าของแนวเชื่อม (Face)	ด้านหลังหรือรากแนวเชื่อม (Root)
จุดประสงค์หลัก	ตรวจสอบคุณภาพผิวหน้าแนวเชื่อม	ตรวจสอบการแทรกซึมของโลหะเชื่อม
จุดที่มักเกิดปัญหา	ฟองอากาศบนแนวเชื่อม	การเชื่อมทะลุไม่ถึง หรือรูพรุน

3. ชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการดัดงอ อย่างน้อย 3 ชนิด พร้อมอธิบายหน้าที่

ตอบ เครื่องทดสอบแรงดัด (Bend Test Machine)

⟶ ใช้ในการสร้างแรงดัดกับชิ้นงานโดยควบคุมแรงและมุมได้อย่างแม่นยำ

ชุดจับยึดชิ้นงาน (Fixture)

⟶ ใช้สำหรับวางรองรับและยึดชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนการดัด

แม่พิมพ์ดัดงอ (Mandrel หรือ Bend Die)

⟶ ใช้ควบคุมรัศมีและรูปแบบของการดัดให้เป็นไปตามมาตรฐาน

4. เหตุผลที่ต้องมีการทดสอบการดัดงอ และควรสรุปผลอย่างไรหากพบรอยแตกร้าว

ตอบ การทดสอบการดัดงอมีความสำคัญเพราะช่วยตรวจสอบคุณภาพและความแข็งแรงของแนวเชื่อมหรือวัสดุว่ามีข้อบกพร่องหรือไม่ เช่น รอยแตก ฟองอากาศ หรือการเชื่อมไม่สมบูรณ์
หากพบรอยแตกร้าวภายหลังการดัดงอ ควรสรุปว่าชิ้นงาน ไม่ผ่านมาตรฐาน และมีข้อบกพร่องที่อาจเป็นอันตรายในการใช้งานจริง

5. สังเกตและวิเคราะห์ชิ้นงาน (กรณีมีภาพหรือชิ้นงานประกอบ)

- หากแนวเชื่อมเรียบ ไม่มีรอยแตก ผิวไม่ย่น หรือไม่มีรูพรุน ⟶ ชิ้นงาน ผ่าน การทดสอบ
- หากพบรอยแตกร้าว รอยแยก ผิวแนวเชื่อมเปิด หรือมีฟองอากาศโผล่ ⟶ ชิ้นงาน ไม่ผ่าน การทดสอบ
- ต้องอธิบายเหตุผล เช่น “พบรอยแตกร้าวบริเวณแนวเชื่อมด้านราก แสดงถึงความไม่สมบูรณ์ในการหลอมละลายระหว่างเชื่อม”

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 4

เรื่อง การทดสอบด้วยการดัดงอ

1. ให้นักเรียนเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบ Face Bend Test และ Root Bend Test

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ**	**หน่วยที่ 4** **สอนครั้งที่ 7-8** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 4

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. ข้อใดคือ วัตถุประสงค์หลัก ของการทดสอบด้วยการดัดงอ?
   - ก. ตรวจสอบขนาดของแนวเชื่อม
   - ข. ตรวจสอบสีของโลหะหลังการเชื่อม
   - ค. ตรวจสอบความแข็งแรงและคุณภาพของแนวเชื่อม

2. ในการทดสอบดัดงอแบบ Face Bend Test จะทำการดัดงอชิ้นงานโดยให้ส่วนใดอยู่ด้านที่ถูกงอ?
   - ก. ด้านหลังของแนวเชื่อม
   - ข. ด้านข้างของแนวเชื่อม
   - ค. ด้านรากแนวเชื่อม
   - ง. ด้านหน้าของแนวเชื่อม

3. อุปกรณ์ใดที่ ไม่ใช่ เครื่องมือหลักในการทดสอบการดัดงอ?
   - ก. เครื่องดัดงอ (Bend Test Machine)
   - ข. ชุดจับยึดชิ้นงาน (Fixture)
   - ค. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
   - ง. แม่พิมพ์ดัดงอ (Bend Die)

4. การทดสอบดัดงอสามารถบ่งบอกถึงข้อใด มากที่สุด เกี่ยวกับแนวเชื่อม?
   - ก. ค่าความต้านทานไฟฟ้า
   - ข. การแตกร้าวหรือข้อบกพร่องที่ผิวของแนวเชื่อม
   - ค. สีของเนื้อเชื่อม
   - ง. ความหนาของแนวเชื่อม

5. หากชิ้นงานมีความหนามาก นิยมใช้การทดสอบดัดงอแบบใด?
   - ก. Face Bend Test
   - ข. Root Bend Test
   - ค. Side Bend Test
   - ง. Flat Bend Test

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 4

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 4 : การทดสอบด้วยการดัดงอ	หน่วยที่ 4 สอนครั้งที่ 7-8 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 4

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ง
3.	ค
4.	ข
5.	ค

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 5

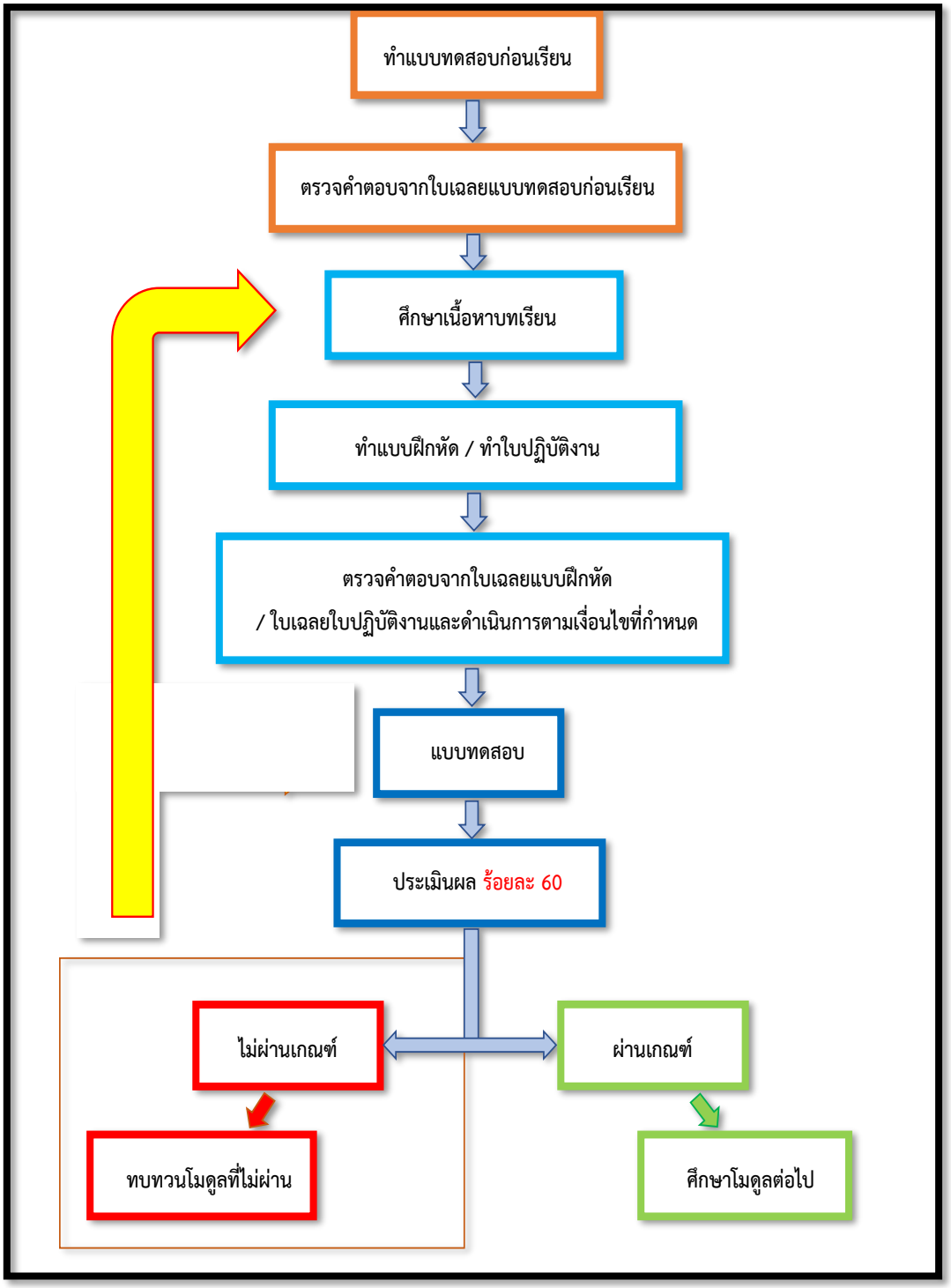
เรื่อง การทดสอบด้วยแรงดึง

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 5

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชา วิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 5

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 5

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 5

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายเสียก่อน เพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายและเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบด้วยแรงดึง

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบด้วยแรงดึง

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบด้วยแรงดึง

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง**	**หน่วยที่ 5** **สอนครั้งที่ 9-10** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 5

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. ข้อใดคือ จุดประสงค์หลัก ของการทดสอบด้วยแรงดึง?
   - ก. เพื่อหาความต้านทานต่อแรงดัดของวัสดุ
   - ข. เพื่อหาค่าความแข็งของวัสดุ
   - ค. เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงและพฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงดึง
   - ง. เพื่อทดสอบการนำไฟฟ้าของวัสดุ
2. ค่าทางกลข้อใดที่สามารถได้จากการทดสอบแรงดึง?
   - ก. ค่าความแข็ง (Hardness)
   - ข. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)
   - ค. ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)
   - ง. ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Permeability)
3. ระหว่างการทดสอบแรงดึง ถ้าเส้นกราฟความเครียด-ความเค้นแสดงถึงช่วงยืดหยุ่น (elastic region) หมายความว่าอย่างไร?
   - ก. วัสดุเริ่มเกิดการเสียรูปถาวร
   - ข. วัสดุจะไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้
   - ค. วัสดุยังสามารถกลับคืนรูปได้เมื่อหยุดแรงดึง
   - ง. วัสดุได้แตกหักแล้ว
4. เครื่องมือใดใช้ในการทดสอบแรงดึง?
   - ก. Universal Testing Machine (UTM)
   - ข. Hardness Tester
   - ค. Micrometer
   - ง. Welding Machine
5. เมื่อทดสอบแรงดึงจนวัสดุขาด จะสามารถทราบข้อมูลอะไรเพิ่มเติมจากชิ้นงานได้?
   - ก. ค่าการนำไฟฟ้า
   - ข. ค่าการเปลี่ยนสีของโลหะ
   - ค. พฤติกรรมการเสียรูปถาวร และจุดขาดของวัสดุ
   - ง. ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการดึง

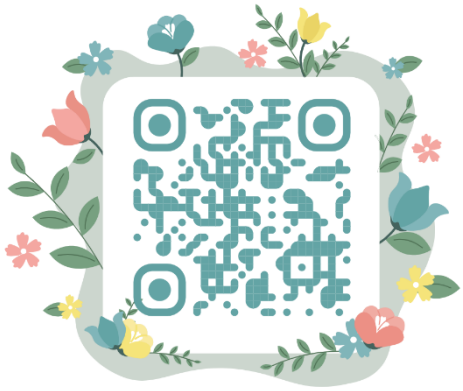
	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 5

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				



คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 5

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ค
4.	ก
5.	ค

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง**	**หน่วยที่ 5** **สอนครั้งที่ 9-10** **ชั่วโมงรวม 8**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมาย หลักการ วัตถุประสงค์ ขั้นตอน เครื่องทดสอบและอุปกรณ์การทดสอบด้วยแรงดึงได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบด้วยแรงดึงได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบด้วยแรงดึงได้
4. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบด้วยแรงดึงแล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้
5. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

ใบความรู้

หน่วยที่ 5 การทดสอบด้วยแรงดึง

งานสร้างสรรทางด้านวิศวกรรมที่พบเห็นในปจจุบัน อาทิ รถยนต์ เครื่องจักร สะพานสิ่งกอสรางต่าง ๆ หรือแมแต่งานสรางสรรใหม ๆ ที่วิศวกรอาจจะตองออกแบบในอนาคตของอาชีพการทำงาน ลวนต้องอาศัยความเขาใจเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุที่ใชทำชิ้นงาน หากชิ้นงานนั้นเกี่ยวของกับการรับแรง วิศวกรก็ตองเขาใจพฤติกรรมของแรงที่กระทำกับชิ้นงานหรือโครงสร้าง พฤติกรรมการเสียรูป ตลอดถึงเงื่อนไขที่ทำใหชิ้นงานหรือโครงสรงนั้น ๆ แตกหักพังเสียหาย ทั้งนี้เพื่อใหชิ้นงานที่ออกแบบมีความคงทนและปลอดภัยตอการใชงาน ยกตัวอย่างเชน การสร้างรถยนต วิศกรตองออกแบบโครงสรางที่มีความแข็งแรงละยืดหยุนเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกและแรงกระแทกขณะชนไดอยางปลอดภัยตามมาตรฐานเปนตน การออกแบบดังกลาวจำเปนตองอาศัยความรูดานกลศาสตรวิศวกรรมเขาชวย โดยเฉพาะอยางยิ่งความเขาใจดานสมบัติของวัสดุ เพื่อใหการเลือกใชวัสดุเหมาะสมกับการงาน เพราะหากเลือกใชวัสดุที่ไมเหมาะสมก็จะสงผลใหชิ้นงานเกิดความเสียหายและเปนอันตรายตอผูใชงานได เชน การแตกหักของเพลาข้อเหวี่ยง และการแตกหักของเสารับน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 เปนตน

รูปที่ 1 (ซาย) การแตกหักของเพลาขอเหวี่ยง และ (ขวา) การแตกหักของเสารับน้ำหนัก

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวของ

การทดสอบดวยการดึงเปนการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุที่เปนที่รูจักดี การทดสอบนี้ช่วยให ได้ค่าสมบัติดานความยืดหยุน ความแข็งแรงคราก (**Yield strength**) หรือจุดที่วัสดุรับแรงไดสูงสุดโดยไม่เสียรูป ความแข็งแรงแรงดึง (**Tensile strength** หรือ **Ultimate strength**) หรือจุดที่วัสดุรับแรงสูงสุด ละอัตราสวนการหดตัวสัมพัทธของหน้าตัด (**Poison ratio**) ซึ่งเหลานี้เปนสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวัสดุ นอกจากนั้นยังสามารถที่จะหาการยืดตัวเมื่อแตกหักของวัสดุได้อีกด้วย การทดสอบด้วยการดึงโดยทั่วไป เปนการใหแรงในแนวแกนเดียว (**Uniaxial tensile test**) แกชิ้นทดสอบ โดยแรงดึงกระจายยางสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำขนาดของแรงดังกลาวหารดวยพื้นที่หน้าตดั ที่รับแรงก็จะไดคาที่เรียกวา “ความเคน (**Stress:)**” ซึ่งมีหนวยเปน **N/m2** หรือ **Pa** ในขณะที่รับแรงดึงวัสดุ

เสียรูป ความแข็งแรงแรงดึง (**Tensile strength** หรือ **Ultimate strength**) หรือจุดที่วัสดุรับแรงสูงสุด และอัตราส่วนการหดตัวสัมพัทธ์ของหน้าตัด (**Poison ratio**) ซึ่งเหล่านี้เป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ของวัสดุ นอกจากนั้นยังสามารถที่จะหาการยืดตัวเมื่อแตกหักของวัสดุได้อีกด้วย การทดสอบด้วยการดึง โดยทั่วไปเป็นการให้แรงในแนวแกนเดียว (**Uniaxial tensile test**) แก่ชิ้นทดสอบ โดยแรงดึงนี้จะกระจาย อย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำขนาดของแรงดังกล่าวหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับ แรงก็จะได้ค่าที่เรียกว่า “ความเค้น (**Stress: σ**)” ซึ่งมีหน่วยเป็น **N/m2** หรือ **Pa** ในขณะที่รับแรงดึงวัสดุ จะเกิดการเสียรูปโดยยืดตัวออก สัดส่วนระหว่างระยะยืดตัวต่อความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบเรียกว่า “ความเครียด (**Strain: ε**)” ซึ่งมีหน่วยเป็น **m/m** หรือไม่มีหน่วย ความเค้นและความเครียดเขียนเป็น ความสัมพันธ์ได้ตามลำดับดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad (2)$$

เมื่อ **F** คือแรงที่กระทำตั้งฉากกับหน้าตัด **A** และ Δ**L** คือความยาวที่เปลี่ยนไปจากความยาวเดิม **L0**

หมายเหตุ ในการพิจารณาความเค้นทำได้ **2** แบบ คือ (**1**) ความเค้นแบบวิศวกรรม (**Engineering stress**) เป็นการพิจารณาความเค้นบนพื้นฐานพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่ และ (**2**) ความเค้นจริง (**True stress**) เป็นการพิจารณาความเค้นบนพื้นฐานพื้นที่หน้าตัดจริงที่เปลี่ยนขนาดไปในขณะนั้น ดังนั้น ความ เค้นจริงมีค่าสูงกว่าความเค้นแบบวิศวกรรม

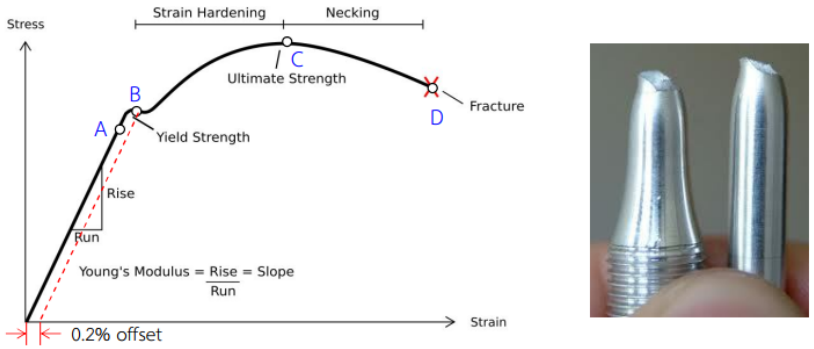
การหาความแข็งแรงของวัสดุโดยการดึงนั้นกระทำได้โดยค่อยๆ เพิ่มแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุที่ละ น้อย จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก ในระหว่างที่ออกแรงดึงวัสดุจะค่อยๆ ยืดตัวออก ส่งผลให้ขนาดหน้า ตัดของวัสดุเล็กลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้นต่อไปได้ วัสดุจึงขาดออกจากกัน ในทางปฏิบัตินิยมนำความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่ให้ (ในรูปความเค้น) กับระยะยืดตัว (ในรูป ความเครียด) มาแสดงผลเทียบต่อกันในรูปกราฟ ซึ่งนิยมเรียกว่า โค้งความเค้น-ความเครียด (**StressStrain Curve**)

2.1 การเขียนกราฟความเค้น-ความเครียด

กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุแต่ละชนิด เป็นสิ่งที่แสดงสมบัติของวัสดุชนิดนั้นอย่าง ชัดเจนว่ามีพฤติกรรมการรับแรงและเสียรูปอย่างไร วัสดุต่างชนิดกันจึงมีรูปแบบของกราฟที่ต่างกันไป ค่า สมบัติสำคัญของวัสดุสามารถอ่านได้จากกราฟดังกล่าวนี้ เช่น ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนรับได้ (ความ แข็งแรงแรงดึง) ค่าความเค้นสูงสุดที่ทำให้วัสดุยังอยู่ในสภาวะยืดหยุ่น (ความแข็งแรงคราก) ค่าโมดูลัส ความยืดหยุ่น เป็นต้น โดยทั่วไปกราฟความเค้น-ความเครียดได้จากการทดสอบแรงดึง ลักษณะของ พฤติกรรมที่ได้สำหรับวัสดุเหนียวทั่วไปเป็นดังรูปที่ **2**

จากรูปที่ **2** เป็นการดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นทดสอบจะค่อยๆ ยืดตัวออกจนถึงจุด **A** ในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ จึงได้กราฟเป็นเส้นตรง เรียกจุด **A** ว่า พิกัดสัดส่วน (**Proportional limit**) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบ ยืดหยุ่น นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม เมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกิน พิกัดสัดส่วน

เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้ อีกเล็กน้อยจนถึงจุด B ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก เรียกว่าจุดคราก (**Yield point**) และ ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (**Yield stress**) หรือความแข็งแรงจุดคราก (**Yield strength**) เป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับการคงรูปของวัสดุ ค่าความแข็งแรงจุดครากนี้มี ประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะใช้กำหนดขีดจำกัดค่าความเค้นสูงสุดที่จะเกิดขึ้นบนโครงสร้างหรือชิ้นงาน โดยที่ยังไม่เกิดการเสียหาย โดยค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานต้องไม่เกินกว่าค่าความเค้นจุดครากนี้เพื่อ เป็นการป้องกันการเสียหาย ซึ่งนำไปสู่ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (**Factor of Safty: FOS**) ของชิ้นงาน (**FOS** = ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน/ค่าความเค้นครากของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน) หลังจากจุด คราก ไปแล้ววัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวรโดยความเค้นจะเพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด **C**) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความแข็งแรงสูงสุด (**Ultimate strength**) หรือความเค้นแรงดึง (**Tensile strength**) เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนที่จะเริ่มขาดหรือแตกออกจากกัน (**Fracture**) จุดสุดท้าย (จุด **D**) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของวัสดุเหนียวทั่วไป

ช่วงที่วัสดุยังคงรักษาสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ (ช่วงไม่เกินจุด **B**) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดจะแปรตรงต่อกัน สัดส่วนดังกล่าวมีค่าคงที่เท่ากับ **E** ซึ่งรู้จักกันในชื่อกฎของ **Hooke** ดังนี้

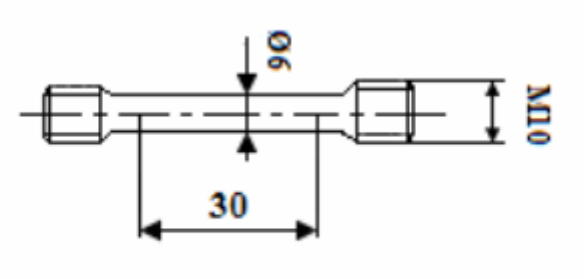
$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \qquad (3)$$

เรียก **E** ว่า **Young's modulus** หรือโมดูลัสความยืดหยุ่น (**Modulus of Elasticity**) แต่เมื่อใดที่วัสดุ ได้รับความเค้นเกินกว่าค่าความเค้นคราก การเปลี่ยนแปลงของวัสดุจะเข้าสู่ช่วงพลาสติกซึ่งไม่สามารถคืนรูปได้ ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (**3**) ก็จะไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

3. การทดสอบ

3.1 ลักษณะชิ้นทดสอบ

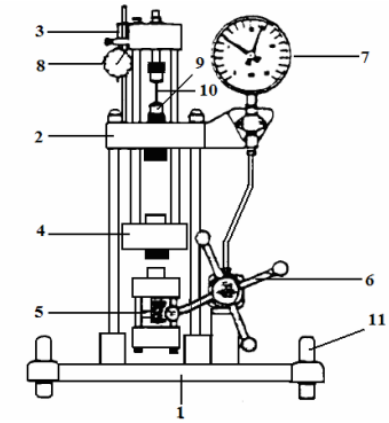
ชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดลองนี้ถูกสร้างขึ้นมีขนาดตามมาตราฐาน **DIN 50125** ขนาดของชิ้น ทดสอบนั้นแสดงในรูปที่ **3** โดยวัสดุที่ใช้จะมี เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง และอลูมินั่ม



รูปที่ 3 ชิ้นทดสอบ

3.2 เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบที่ใช้เป็นของบริษัท **GUNT** รุ่น **WP300 Universal Material Testing** โดยส่วนประกอบต่างๆ แสดงในรูปที่ **4** โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



1) แท่นเครื่อง
2) แท่นรองรับแรง
3) Load frame บน
4) Load frame ล่าง
5) ลูกสูบหลักของระบบไฮดรอลิกส์
6) มือหมุนปรับความดันในระบบไฮโรอลิกส์
7) หน้าปัดบอกแรงกระทำ
8) Dial gage บอกการยืดตัว
9) หัวจับชิ้นงานทดสอบ
10) ชิ้นงานทดสอบ

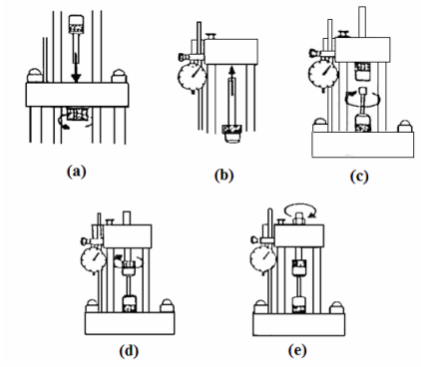
รูปที่ 4 เครื่องมือทดสอบ

การทำงานของเครื่องใช้หลักการออกแรงหมุนที่คันหมุนเพื่อให้สกรูเลื่อนเข้าไปดันลูกสูบ น้ำมันไฮดรอลิกส์ก็จะไหลจากกระบอกคันหมุนเข้าไปในกระบอกหลัก ถ้ายังไม่ได้ติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้า กับเครื่องทดสอบลูกสูบของกระบอกไฮดรอลิกส์หลักก็จะเลื่อนสูงขึ้นโดยอ่านค่าแรงที่หน้าปัดได้เท่ากับ ศูนย์ (เพราะไม่มีแรงต้าน) แต่หากติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้าไปแล้วจะทำให้มีแรงต้านการเคลื่อนที่ เมื่อ หมุนความดันในระบบไฮดรอ

ลิกส์จึงสูงขึ้น มาตรวัดแรงก็จะอ่านได้ค่าของแรงที่กระทำต่อลูกสูบหลัก (การ ทดแรงของระบบไฮดรอลิกส์ชุดนี้ คือ แรง **1 N** ที่มือหมุนจะทำให้เกิดแรง **1.3 kN** ที่ลูกสูบ) จากนั้นเมื่อ ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจะไปดัน **Load frame** ตัวล่างซึ่งต่อกับ **Load frame** ตัวบน ทั้งคู่ทำจากเหล็กที่มีความ แข็งแรงสูงและมีการยืดตัวน้อย จึงประมาณว่าไม่ส่งผลกระทบกับระยะยืดตัวของชิ้นงานทดสอบ เมื่อชุด **Load frame** ถูกดันขึ้นในขณะที่แท่นรองรับถูกตรึงอยู่กับที่ จึงส่งผลให้เกิดแรงดึงต่อชิ้นงานทดสอบ สำหรับระยะเคลื่อนตัวออกของชุด **Load frame** นั้นสามารถวัดค่าได้โดยใช้ **Dial gage**

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) นำชิ้นงานทดสอบชนิดที่ **1** ไปวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวเริ่มต้น
2) บิดมือหมุนของระบบไฮโดรลิกส์ทวนเข็มนาฬิกาจนทำให้ **Load frame** อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด
3) ใส่หัวจับชิ้นงานทดสอบเข้ากับแท่นรองรับแล้วขันเกลียวให้เรียบร้อย ตามรูปที่ **5(a)**
4) ใส่หัวจับชิ้นงานทดสอบเข้ากับ **Load frame** โดยยังไม่ต้องขันน็อต ตามรูปที่ **5(b)**
5) ใส่ชิ้นงานทดสอบเข้ากับที่จับด้านล่างขันจากนั้นเกลียวให้สุด ตามรูปที่ **5(c)**
6) ขันหัวจับด้านบนเข้ากับชิ้นงานทดสอบ โดยการหมุนหัวจับไปจนสุดเกลียว ตามรูปที่ **5(d)**
7) ขันน๊อตหัวจับตัวบนเข้ากับ **Load frame** ให้แน่นพอประมาณ ตามรูปที่ **5(e)**
8) ค่อยๆ หมุนมือหมุนของระบบไฮดรอลิกส์ตามเข็มนาฬิกา จนกระทั่งเริ่มรู้สึกตึงมือหรือเข็มบอกแรงบนหน้าปัดเริ่มขยับ
9) เลื่อนปรับ **Dial gaue** ให้อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดการดันจนอ่านค่าได้เล็กน้อย
10) หมุนหน้าปัด **Dial gage** ให้อ่านที่ศูนย์
11) หมุนเข็มบอกแรงกระทำสูงสุดบนหน้าปัดวัดแรงให้อ่านที่ศูนย์
12) ค่อยเริ่มหมุนมือหมุนซึ่งจะทำให้ชิ้นงานทดสอบเริ่มยืดตัว เมื่อระยะยืดตัวเท่ากับ **0.1 mm** ให้อ่านค่า
ของแรงดึงที่กระทำ
13) จากนั้นค่อยๆ เพิ่มระยะยืดตัวขึ้นและอ่านค่าที่ระยะยืดที่ตัวกำหนดในตารางการทดลอง
14) ค่อยๆ เพิ่มระยะยืดตัวไปจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบเกิดการแตกหัก
15) เปลี่ยนชิ้นงานทดสอบจนครบตามที่กำหนดให้ บันทึกค่าในตาราง



รูปที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

4. การวิเคราะห์และแสดงผลการทดลอง

1) เขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเค้น-ความเครียดของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบ พร้อมทั้งกำหนดจุด **Proportional limit, Yield strength, Tensile strength** ลงบนกราฟ

2) คำนวณหาค่า **Elastic Modulus, Yield strength,** และ **Tensile strength** ของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับข้อมูลในตำราเรียนเพื่อระบุว่าชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิดนั้นน่าจะทำจากวัสดุชนิดใดหมายเหตุ พื้นที่หน้าตัด A_0 ของชิ้นงานทดสอบหาได้จาก

$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$$

เมื่อ **D** คือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบซึ่งมีค่าประมาณ 6 **mm (**ควรวัดค่าที่แน่นอนก่อนทำการทดสอบ) และค่าความยาวเดิมของชิ้นงาน **L0=30 mm**

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 5

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบด้วยแรงดึง และสิ่งที่สามารถวิเคราะห์ได้จากการทดสอบนี้

.....

.....

.....

2. จงอธิบายว่า “จุดคราก (Yield Point)” หมายถึงอะไร และมีความสำคัญอย่างไรในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล

.....

.....

.....

3. จงเขียนชื่อเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง และอธิบายหน้าที่โดยย่อ

.....

.....

.....

4. จากกราฟความเครียด-ความเค้น (Stress-Strain Diagram) จะสามารถทราบคุณสมบัติอะไรของวัสดุได้บ้าง

.....

.....

.....

5. หากวัสดุ A มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่า วัสดุ B แสดงว่าวัสดุ A มีคุณสมบัติเด่นในด้านใด

.....

.....

.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลที่ 5

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบด้วยแรงดึง และสิ่งที่สามารถวิเคราะห์ได้จากการทดสอบนี้

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยการดึงชิ้นงานในแนวแกนให้ยืดออกจนวัสดุขาดออกจากกัน โดยใช้เครื่องมือที่สามารถวัดแรงดึงและการยืดของวัสดุได้
สามารถวิเคราะห์ค่าทางกลได้ เช่น

- ความเค้นคราก (Yield Strength)
- ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)
- ความยืดตัว (Elongation)
- ความเค้นและความเครียด (Stress & Strain)

2. จงอธิบายว่า “จุดคราก (Yield Point)” หมายถึงอะไร และมีความสำคัญอย่างไรในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล

จุดคราก (Yield Point) คือจุดที่วัสดุเริ่มเสียรูปแบบถาวรเมื่อได้รับแรงดึง กล่าวคือ เมื่อแรงดึงเกินกว่าจุดนี้ วัสดุจะไม่สามารถคืนรูปได้
เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล เพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุจะไม่เสียรูปถาวรในการใช้งาน

3. จงเขียนชื่อเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง และอธิบายหน้าที่โดยย่อ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง คือ **เครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine - UTM)**

หน้าที่: ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น การดึง การอัด หรือการดัด โดยสามารถวัดแรงและการยืดตัวของวัสดุได้อย่างแม่นยำ

4. จากกราฟความเครียด-ความเค้น (Stress-Strain Diagram) จะสามารถทราบคุณสมบัติอะไรของวัสดุได้บ้าง?
สามารถทราบคุณสมบัติดังนี้:

- จุดคราก (Yield Point)
- ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (UTS)
- ความยืดตัว (Elongation)
- ความแข็งแรง (Strength)
- ความเหนียว (Toughness)

5. หากวัสดุ A มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่า วัสดุ B แสดงว่าวัสดุ A มีคุณสมบัติเด่นในด้านใด?

วัสดุ A สามารถทนต่อแรงดึงได้มากกว่าวัสดุ B ก่อนที่จะแตกหรือขาด แสดงว่าวัสดุ A มีความแข็งแรงสูงกว่า เหมาะกับการใช้งานที่ต้องรับแรงมาก เช่น โครงสร้างหรือเพลาขับ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 5

เรื่อง การทดสอบด้วยการดัดงอ

1. ให้นักเรียนอภิปรายว่าชิ้นงานเหมาะสมกับการใช้งานประเภทใด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง**	**หน่วยที่ 5** **สอนครั้งที่ 9-10** **ชั่วโมงรวม 8**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 5

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. ข้อใดคือ จุดประสงค์หลัก ของการทดสอบด้วยแรงดึง?
   - ก. เพื่อหาความต้านทานต่อแรงดัดของวัสดุ
   - ข. เพื่อหาค่าความแข็งของวัสดุ
   - ค. เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงและพฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงดึง
   - ง. เพื่อทดสอบการนำไฟฟ้าของวัสดุ
2. ค่าทางกลข้อใดที่สามารถได้จากการทดสอบแรงดึง?
   - ก. ค่าความแข็ง (Hardness)
   - ข. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)
   - ค. ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)
   - ง. ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Permeability)
3. ระหว่างการทดสอบแรงดึง ถ้าเส้นกราฟความเครียด-ความเค้นแสดงถึงช่วงยืดหยุ่น (elastic region) หมายความว่าอย่างไร?
   - ก. วัสดุเริ่มเกิดการเสียรูปถาวร
   - ข. วัสดุจะไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้
   - ค. วัสดุยังสามารถกลับคืนรูปได้เมื่อหยุดแรงดึง
   - ง. วัสดุได้แตกหักแล้ว
4. เครื่องมือใดใช้ในการทดสอบแรงดึง?
   - ก. Universal Testing Machine (UTM)
   - ข. Hardness Tester
   - ค. Micrometer
   - ง. Welding Machine
5. เมื่อทดสอบแรงดึงจนวัสดุขาด จะสามารถทราบข้อมูลอะไรเพิ่มเติมจากชิ้นงานได้?
   - ก. ค่าการนำไฟฟ้า
   - ข. ค่าการเปลี่ยนสีของโลหะ
   - ค. พฤติกรรมการเสียรูปถาวร และจุดขาดของวัสดุ
   - ง. ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการดึง

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 5

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 5 : การทดสอบด้วยแรงดึง	หน่วยที่ 5 สอนครั้งที่ 9-10 ชั่วโมงรวม 8

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 5

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ค
4.	ก
5.	ค

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 6

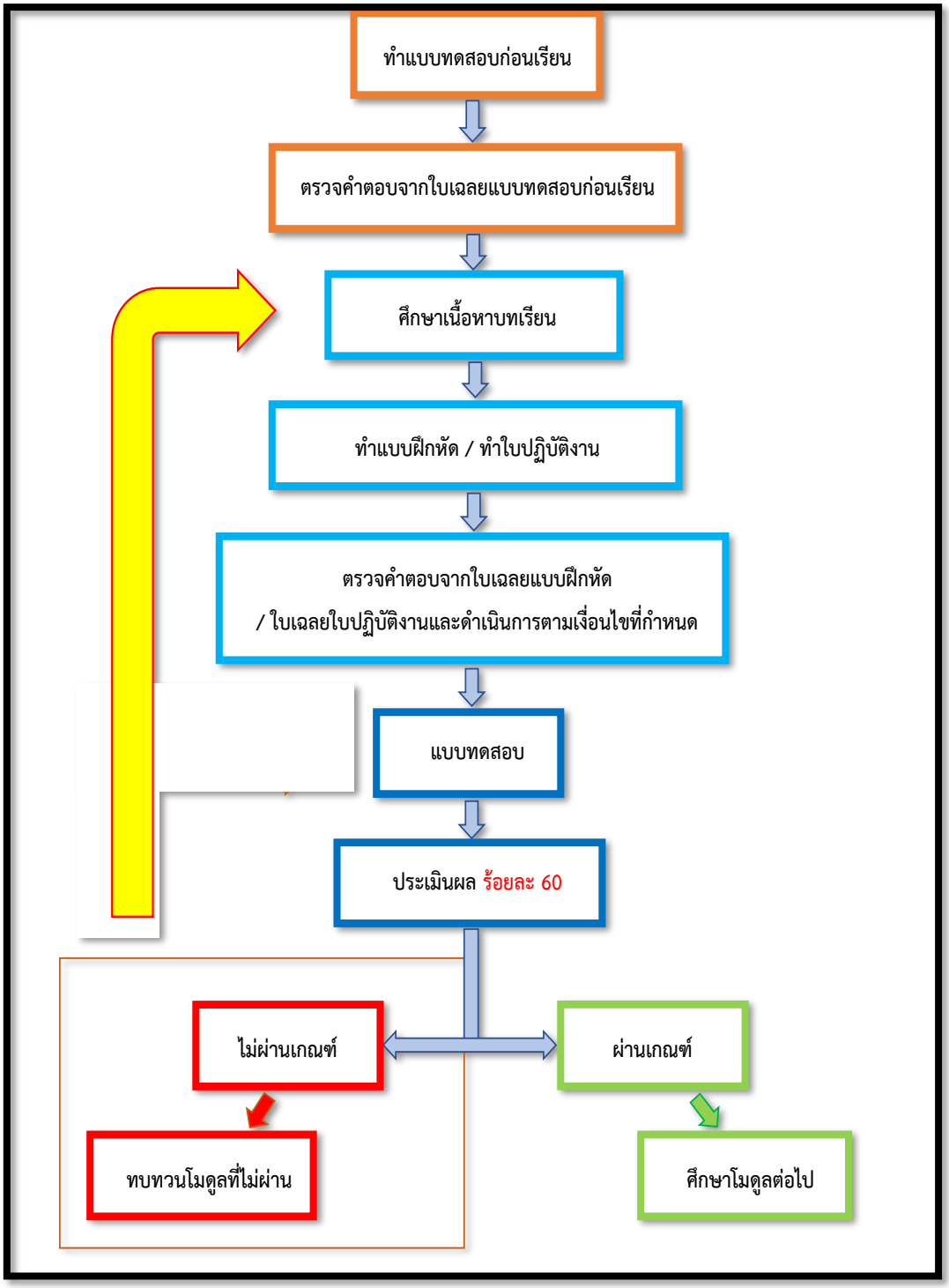
เรื่อง การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 6

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 6

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 6

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 6

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายนี้ ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายเสียก่อน เพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายและเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 6

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ใช้หัวกดวัสดุใดในการทดสอบ?
   - ก. หัวกดเหล็กกล้าแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์รูปกรวย
   - ข. หัวกดเพชรปลายแหลม
   - ค. หัวกดทรงกลมทำจากเหล็กกล้าหรือทังสเตนคาร์ไบด์
   - ง. หัวกดปลายเรียวรูปพีระมิด
2. หน่วยของค่าความแข็งบริเนลล์ คืออะไร?
   - ก. N/m^2
   - ข. MPa
   - ค. BHN (Brinell Hardness Number)
   - ง. HRC
3. ในการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ จะวัดค่าความแข็งจากอะไร?
   - ก. น้ำหนักของหัวกด
   - ข. ความลึกของรอยกด
   - ค. เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด
   - ง. มุมของหัวกด
4. ข้อใด ไม่ใช่ ข้อดีของการทดสอบแบบบริเนลล์?
   - ก. เหมาะกับวัสดุที่มีพื้นผิวขรุขระ
   - ข. ใช้ได้ดีกับวัสดุเนื้อเหนียวหรืออ่อน
   - ค. เหมาะกับการทดสอบชิ้นงานบางมาก
   - ง. ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยได้แม่นยำ
5. ถ้ารอยกดจากการทดสอบบริเนลล์มีขนาดใหญ่ แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร?
   - ก. มีความแข็งสูง
   - ข. เปราะ
   - ค. อ่อนหรือลดความแข็ง
   - ง. ไม่สามารถทดสอบได้

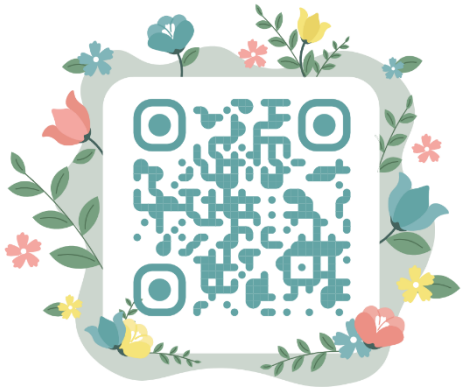
	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 6

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				



คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 6

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ค
4.	ค
5.	ค

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

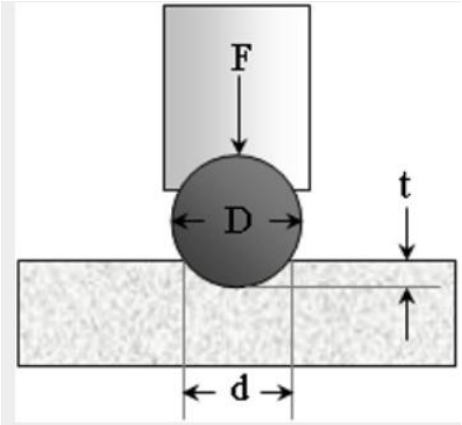
1. อธิบายความหมาย ข้อมูลทางเทคนิค และการเตรียมชิ้นงานของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ได้
4. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์แล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้
5. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย

ใบความรู้

หน่วยที่ 6 การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

ค่าความแข็งของวัสดุถือได้ว่าเป็นสมบัติเชิงกลพื้นฐานที่สามารถชี้ให้เห็นคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุนั้นได้ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความเหนียว การทนต่อแรงเสียดสีและการสึกหรอ เป็นต้น ปัจจุบันการวัดค่าความแข็งสามารถกระทำได้ง่าย เนื่องจากอุปกรณ์วัดความแข็งล้วนแต่เป็นระบบอัตโนมัติ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ การเลือกวิธีทดสอบให้เหมาะสมกับงานที่จะทดสอบ เพราะว่าวิธีทดสอบความแข็งนั้นมีหลายประเภท สำหรับวิธีการวัดความแข็งที่นิยมใช้ในงานโลหะนั้นมี 3 วิธี คือ

1. การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)



หลักการ การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ อาศัยการกดของหัวกดทรงกลมที่ผลิตจากเหล็กกล้าชุบแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง **D** ลงบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด **F** ดังรูป โดยคงค่าแรงกดเป็นระยะเวลา 10 ถึง 15 วินาทีสำหรับวัสดุประเภทเหล็กหรือเหล็กกล้า และคงค่าแรงเป็นระยะเวลา 30 วินาทีสำหรับโลหะอ่อน เช่น อะลูมิเนียม และทองเหลือง เป็นต้น ทำให้เกิดรอยกดที่มีความลึก **t** และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดเฉลี่ย **d** ซึ่งได้จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดในแนวตั้งฉากกันสองค่าแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยเครื่องมือวัดต้องมีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ค่าความแข็งคำนวณได้จากแรงกดหารด้วยพื้นที่รอยกด นั่นคือ

$$\text{ค่าความแข็งบริเนลล์} = \frac{F}{A} = \frac{0.102F}{0.5\pi D[D - \sqrt{(D^2 - d^2)}]}$$

แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็งจากสูตรคำนวณ เพราะสามารถนำความยาวเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด (**d**) และขนาดแรงกดที่ใช้เทียบกับตารางค่าความแข็งที่ได้คำนวณไว้แล้วได้โดยตรง ดังแสดงในตาราง

โดยทั่วไปลูกบอลที่ใช้เป็นหัวกดมีขนาด 10 มิลลิเมตร และสามารถใช้แรงกดได้ตั้งแต่ 500 กิโลกรัม สูงสุดถึง 3,000 กิโลกรัม หน่วยความแข็งของการทดสอบแบบบริเนลล์คือ **BHN** หรือ **HB**

ข้อดี การวัดค่าความแข็งแบบบริเนลล์จะให้รอยกดที่กว้างและลึก เพราะหัวกดมีขนาดใหญ่ ดังนั้นความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานทดสอบและความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างทางจุลภาคจึงมีผลน้อยต่อค่าการทดสอบ หรือกล่าวได้ว่าให้ค่าความแข็งเฉลี่ยของวัสดุที่ทดสอบ

ข้อเสีย ค่าความแข็งได้มาจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด ฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าของผู้ทำการทดสอบได้ นอกจากนี้รอยกดมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถทำการทดสอบกับชิ้นงานขนาดเล็กหรือชิ้นงานที่บางมากๆได้

ข้อเสีย ค่าความแข็งได้มาจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด ฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าของผู้ทำการทดสอบได้ นอกจากนี้รอยกดมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถทำการทดสอบกับชิ้นงานขนาดเล็กหรือชิ้นงานที่บางมากๆได้

ข้อจำกัด

• การทดสอบแบบบริเนลล์ไม่ควรใช้วัดความแข็งเกิน 450 **HB** เพราะค่าความแข็งที่สูงกว่านี้อาจจะทำให้เกิดการเสียรูปของหัวกด ทำให้รอยกดใหญ่กว่าความเป็นจริงหรือความแข็งที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง

• ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกดหรือระยะห่างของจุดศูนย์กลางรอยกดจากขอบของชิ้นงานควรมีค่าไม่น้อยกว่าสองเท่าของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรอยกด (2**d**)

• ความหนาของชิ้นงานทดสอบควรมีค่ามากกว่าสิบเท่าของความลึกรอยกด (10**t**) หรืออาจพิจารณาจากแรงกดให้หมาะสมโดยไม่ทำให้เกิดการเสียรูปทางด้านหลังของชิ้นงาน

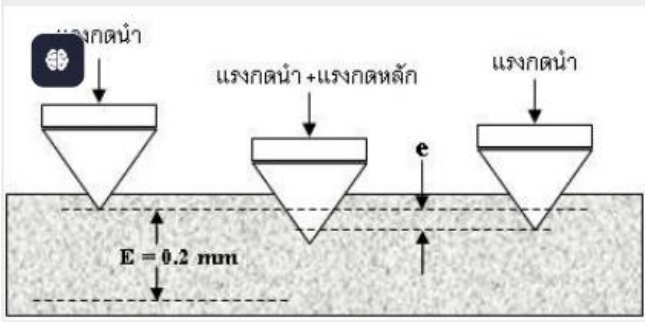
• ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรอยกด (**d**) ควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.2**D** – 0.7**D** หรือประมาณ 2 – 7 มิลลิเมตรสำหรับลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพราะหากรอยกดเล็กเกินไปจะทำให้ขอบของรอยกดไม่คมชัด ส่งผลให้วัดความยาวได้ยากและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการอ่านค่าความยาวจะมาก ในทางกลับกัน หากรอยกดมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการกดตัวของเนื้อชิ้นงานด้านข้างมาก

เส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด (mm)	ค่าความแข็งบริเนลล์ขนาดน้ำหนักต่างๆ					
	500 kgf	1000 kgf	1500 kgf	2000 kgf	2500 kgf	3000 kgf
2.00	158	316	473	632	788	945
2.05	150	300	450	600	750	899
2.10	143	286	428	572	714	856
2.15	136	272	408	544	681	817
2.20	130	260	390	520	650	780
2.25	124	248	372	496	621	745
2.30	119	238	356	476	593	712
2.35	114	228	341	456	568	682
2.40	109	218	327	436	545	653
2.45	104	208	313	416	522	627
2.50	100	200	301	400	500	601
2.55	96.3	193	289	385	482	578
2.60	92.6	185	278	370	462	555
2.65	89.0	178	267	356	445	534
2.70	85.7	171	257	343	429	514
2.75	82.6	165	248	330	413	495
2.80	79.6	159	239	318	398	477
2.85	76.8	154	230	307	384	461
2.90	74.1	148	222	296	371	444
2.95	71.5	143	215	286	358	429

2. การทดสอบแบบรอกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

หลักการ เป็นการวัดค่าความแข็งของวัสดุโดยการวัดความลึกของหัวกดซึ่งทำด้วยเพชรทรงกรวย หรือลูกบอลเหล็กกล้าที่มีขนาด 1.6-12.7 มิลลิเมตร (1/16 – 1/2 นิ้ว) และเลี่ยงอิทธิพลของผิวชิ้นงานทดสอบด้วยการใช้แรงกดนำค่าหนึ่ง (**minor load)** เพื่อกำหนดจุดอ้างอิงในการวัดความลึก การวัดความแข็งแบบรอกเวลล์สามารถแบ่งออกได้หลายหน่วยการทดสอบจากการใช้แรงกดและหัวกดที่ต่างกัน แต่วิธีการทดสอบที่นิยมใช้ทดสอบกับโลหะมี 3 วิธี คือ รอกเวลล์ซี (**Rockwell – C) ,** รอกเวลล์บี (**Rockwell – B)** และรอกเวลล์เอ (**Rockwell – A)**

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซีใช้หัวกดเพชรทรงกรวย มีมุมปลาย 120**o** ในการทดสอบเริ่มต้นจะให้แรงกดนำ (**Minor load)** 10 **kgf** กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ จากนั้นเพิ่มแรงกดหลัก (**Major load)** อีก 140 **kgf** ค่าความแข็งจะถูกอ่านเมื่อนำแรงกดหลักออก ซึ่งเนื้อชิ้นงานที่ถูกกดจะคืนตัวกลับในปริมาณหนึ่งและคงเหลือเพียงแรงกดนำ ซึ่งปลายหัวกดจะอยู่ ณ ตำแหน่งที่เกิดจากการยุบตัวอย่างถาวรของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูป



ในการคิดเป็นค่าความแข็งนั้น ถ้าให้ **E** คือค่าคงที่ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 100 ส่วน ส่วนละ 0.002 **mm** และ **e** คือความลึกที่เกิดจากการเสียรูปอย่างถาวรจากการกด ก็จะสามารถคำนวณค่าความแข็งได้ดังนี้

$$\text{ความแข็งรอกเวลล์ซี} = 100 - \frac{e}{0.002} \quad \text{HRC}$$

ฉะนั้นวัสดุที่ถูกกดเข้าไปลึกมากกว่า 0.2 **mm** หรือวัสดุอ่อน จะไม่สามารถทำการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลซีได้ ในกรณีนี้ควรใช้การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บีหรือเอแทน

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บีมีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี แต่ใช้หัวกดที่ทำจากลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/16 นิ้ว หรือ 1.59 มม. ใช้แรงกดหลัก 90 **kgf** เหมาะกับการทดสอบวัสดุอ่อน เพราะมีการยืดช่วงของ **E** เป็น 0.26 มม. และแบ่งเป็น 130 ส่วน ส่วนละ 0.002 มม. ฉะนั้นค่าความแข็งจึงคำนวณได้จาก

$$\text{ความแข็งรอกเวลล์บี} = 130 - \frac{e}{0.002} \quad \text{HRB}$$

ในขณะที่การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์เอจะกระทำเช่นเดียวกันกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี คือใช้หัวกดเพชรทรงกรวย และกำหนดระยะ **E** = 0.2 มม. แต่ใช้แรงกดหลัก 60 **kgf** เพื่อให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุที่อ่อนลง

ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็ง เพราะจะมีเข็มชี้บอกค่าความแข็ง หรือบางเครื่องเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถแสดงค่าความแข็งเป็นตัวเลขโดยตรง

ข้อดี เป็นการทดสอบค่าความแข็งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถทดสอบวัสดุได้ครอบคลุมเกือบทุกชนิด การทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว มีความคลาดเคลื่อนน้อยเพราะสามารถอ่านค่าความแข็งได้โดยตรงจาก

เครื่องทดสอบ สามารถใช้ชิ้นงานบางลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบบริเนลล์ เพราะหัวกดมีขนาดเล็กกว่า

ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบให้เรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน ผิวต้องแห้งและสะอาด เพราะผิวชิ้นงานทดสอบจะมีผลต่อค่าความแข็งอย่างมากเนื่องจากรอยกดมีขนาดเล็กและไม่ลึกมาก (รอยกดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 0.2 – 1 มิลลิเมตร)

ข้อจำกัด

• ความหนาของชิ้นงานทดสอบต้องมีไม่น้อยกว่า 10 เท่าของความลึกรอยกด หรือมีมากพอที่ไม่ทำให้ผิวด้านหลังของชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียรูปทรง

• ระยะห่างของจุดศูนย์กลางรอยกดกับจุดศูนย์กลางรอยกดถัดไปหรือจากขอบของชิ้นงานทดสอบควรมีระยะไม่น้อยกว่า 3 มม.

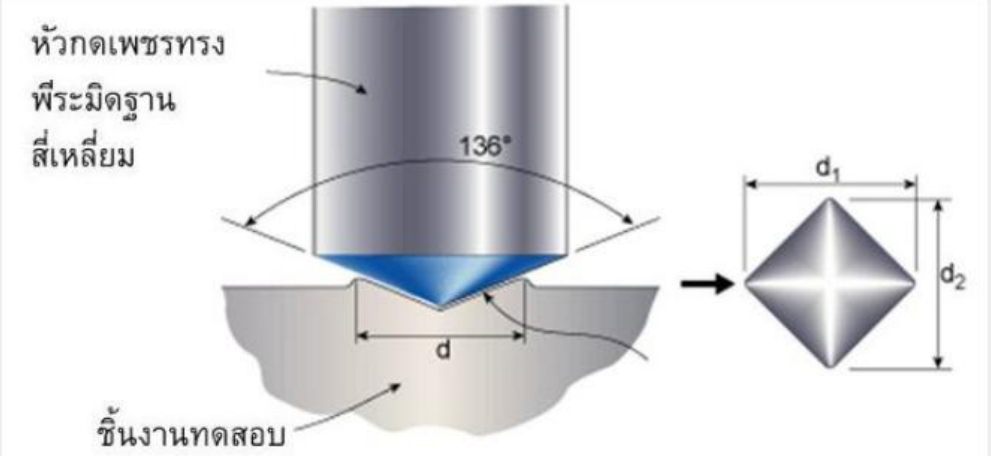
• การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี เหมาะกับการทดสอบวัสดุแข็ง เช่น เหล็กกล้าชุบแข็ง ค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบรอกเวลล์ซีอยู่ในช่วง 20 – 67 **HRC**

• การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บี เหมาะกับการทดสอบโลหะอ่อน เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อลูมิเนียม และทองแดง เป็นต้น ค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบรอกเวลล์บีอยู่ในช่วง 35 – 100 **HRB**

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์เอก็มีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี แต่จะใช้แรงกดหลักต่ำกว่า คือ 60 **kgf** ด้วยน้ำหนักกดที่น้อยกว่านี้เอง ทำให้รอยกดของการทดสอบกับวัสดุเดียวกันตื้นกว่าเมื่อเทียบกับรอกก์เวลล์ซีและจึงสามารถวัดความแข็งของวัสดุได้ในช่วงที่กว้างกว่าตั้งแต่โลหะอ่อนจนถึงเซรามิกส์ซึ่งมีความแข็งสูง แต่ข้อเสียในทางกลับกันก็คือความละเอียดในการแจกแจงระดับความแข็งจะหยาบกว่าเล็กน้อย เช่น ความแข็งในระดับ 28 และ 30 รอกเวลล์ซี อาจวัดแล้วได้ค่าไม่ต่างกันถ้าวัดด้วยรอกก์เวลล์เอ อย่างไรก็ตามรอกเวลล์เอสามารถใช้ทดสอบความแข็งของชิ้นงานบางที่ความหนาต่ำสุดน้อยกว่ากรณีรอกเวลล์ซีทั้งนี้ขึ้นกับค่าความแข็งของวัสดุด้วย ถ้าความแข็งมากรอยกดจะตื้นและความหนาต่ำสุดที่จะทดสอบได้ก็จะมีค่าน้อย

3. การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

หลักการ เป็นการวัดค่าความแข็งที่ใช้หัวกดเพชรทรงพีรามิดมุม 136**o** ฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด **F** ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 – 120 **kgf** โดยกดลงตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน การเคลื่อนที่ของหัวกดที่กดลงบนชิ้นงานจะใช้เวลา 15 วินาที แต่จะคงค่าแรงกดไว้อีกระยะหนึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุ เช่น เหล็กกล้าจะคงแรงกดไว้ประมาณ 10 วินาที ในขณะที่วัสดุอ่อนจะคงแรงกดไว้นานกว่า เมื่อหัวกดถูกยกขึ้น รอยกดที่เกิดขึ้นจะถูกวัดขนาดโดยการวัดเส้นทแยงมุม **d**1 และ **d**2 ด้วยความละเอียดการวัด 0.002 มม. ดังรูป ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุม (**d**) จะถูกนำไปคำนวณค่าความแข็งดังนี้



ความแข็งวิกเกอร์ = แรงกด/พื้นที่ผิวรอยกด

$$= \frac{0.102F \; x \; 2\cos 22^{\circ}}{d^2}$$

$$= \frac{0.189F}{d^2}$$

เช่นเดียวกับการวัดความแข็งแบบบริเนลล์ ค่าความแข็งจะถูกคำนวณไว้แล้วที่ความยาวรอยกดและแรงกดขนาดต่างๆ ในรูปของตาราง หรืออาจมีการแสดงค่าความแข็งด้วยระบบอัตโนมัติเป็นตัวเลขจากเครื่องทดสอบโดยตรง หน่วยความแข็งคือ HV หรือ VHN

ข้อดี หัวกดมีขนาดเล็กและแรงที่ใช้กดต่ำ รอยกดจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าเกรนของโลหะ จึงสามารถวัดความแข็งได้ถึงระดับโครงสร้างจุลภาค เหมาะกับงานทดสอบที่ต้องการความละเอียดของค่าความแข็งสูง สามารถทดสอบได้ทั้งวัสดุอ่อนและวัสดุแข็ง

ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานให้เรียบและสะอาดมากในระดับที่สามารถส่องดูผิวเรียบภายใต้กำลังขยาย 40X ได้ ต้องไม่มีคราบน้ำมัน รอยขีดข่วน หรือฟิล์มออกไซด์ อยู่บนผิวชิ้นงานทดสอบ

ข้อจำกัด

- ความหนาของชิ้นงานทดสอบไม่ควรน้อยกว่า 1.2 เท่าของเส้นทแยงมุมรอยกด
- ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางรอยกดกับขอบชิ้นงานทดสอบหรือขอบของรอยกด ควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 3 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด

ตารางเทียบค่าความแข็ง

ค่าความแข็งจากการทดสอบหนึ่งๆนั้น สามารถเปรียบเทียบกับการทดสอบในหน่วยอื่นๆได้ ดังได้แสดงในส่วนหนึ่งของตารางเทียบค่าความแข็งตามมาตรฐาน ASTM E140-07 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบค่าความแข็งในกรณีที่ชิ้นงานผ่านการทดสอบจากเครื่องมือทดสอบที่ต่างกัน

Rockwell C, 150 kgf(HRC)	Rockwell A, 60 kgf(HRA)	Rockwell B, 100 kgf(HRB)	Brinell 10-mm Standard Ball 3000-kgf(HB)	Brinell 10-mm CarbideBall 3000-kgf(HB)	Vickers Hardness Number(HV)
68	85.6		...	...	940
67	85.0		...	...	900
66	84.5		...	...	865
65	83.9		...	(739)	832
64	83.4		...	(722)	800
63	82.8		...	(705)	772
62	82.3		...	(688)	746
61	81.8		...	(670)	720
60	81.2		...	(654)	697
59	80.7		...	634	674
58	80.1		...	615	653
57	79.6		...	595	633
56	79.0		...	577	613
55	78.5		...	560	595
54	78.0		...	543	577
53	77.4		...	525	560
52	76.8		(500)	512	544
51	76.3		(487)	496	528
50	75.9		(475)	481	513
49	75.2		(464)	469	498
48	74.7		451	455	484
47	74.1		442	443	471
46	73.6		432	432	458
45	73.1		421	421	446
44	72.5		409	409	434
43	72.0		400	400	423
42	71.5		390	390	412

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 6

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ และสิ่งที่สามารถวัดได้จากการทดสอบนี้

.....

.....

.....

2. จงอธิบายขั้นตอนโดยสังเขปของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

.....

.....

.....

3. จากสมการการคำนวณค่าความแข็งบริเนลล์ (BHN) BHN $= \frac{2P}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$ จงระบุความหมายของตัวแปรแต่ละตัวในสมการ

.....

.....

.....

4. เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

.....

.....

.....

5. จากการทดลอง หากหัวกดทำให้เกิดรอยกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร? อธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลที่ 6

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ และสิ่งที่สามารถวัดได้จากการทดสอบนี้

การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์เป็นการวัดความแข็งของวัสดุโดยใช้หัวกดทรงกลม (ทำจากเหล็กกล้าหรือทังสเตนคาร์ไบด์) กดลงบนผิววัสดุด้วยแรงกดที่กำหนดไว้ และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่เกิดขึ้นจากนั้นนำค่าแรงกดและขนาดของรอยกดไปคำนวณเพื่อหาค่าความแข็ง Brinell (BHN) ซึ่งแสดงถึงความต้านทานของวัสดุต่อแรงกดทับ

2. จงอธิบายขั้นตอนโดยสังเขปของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

1. เตรียมชิ้นงานให้มีผิวเรียบและสะอาด
2. เลือกหัวกดและน้ำหนักกดตามประเภทของวัสดุ
3. วางชิ้นงานในเครื่องทดสอบความแข็ง
4. กดหัวกดลงบนชิ้นงานด้วยแรงที่กำหนด และรอเวลา 10-15 วินาที
5. ใช้กล้องหรือเครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด
6. คำนวณค่าความแข็ง BHN จากสูตรมาตรฐาน

3. จากสมการ BHN = 2Pπ**π**D(D−D2−d2)\frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}**π**D(D−D2−d2)2P จงระบุความหมายของตัวแปรแต่ละตัวในสมการ

- BHN = ค่า Brinell Hardness Number (ค่าความแข็งบริเนลล์)
- P = แรงที่กดลงบนชิ้นงาน (หน่วย: kgf หรือ N)
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด (หน่วย: mm)
- d = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรอยกด (หน่วย: mm)
- **π** = ค่าคงที่ประมาณ 3.1416

4. เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

ข้อดี:

- ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยของพื้นผิวได้ดี โดยเฉพาะในวัสดุเนื้อหยาบ
- เหมาะกับวัสดุอ่อนหรือมีโครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอ
- การวัดง่าย และไม่ต้องใช้เทคโนโลยีซับซ้อน

ข้อจำกัด:

- ไม่เหมาะกับชิ้นงานบาง เพราะแรงกดสูงอาจทำให้ทะลุหรือเสียหาย
- ใช้เวลานานกว่าการทดสอบอื่น เช่น Vickers หรือ Rockwell
- ไม่เหมาะกับการทดสอบชิ้นงานขนาดเล็กหรือบริเวณขอบ

5. หากหัวกดทำให้เกิดรอยกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร? อธิบายเหตุผล

วัสดุนั้นมีความแข็งต่ำ หรือเป็นวัสดุที่ "อ่อน" เพราะสามารถยุบตัวได้ง่ายภายใต้แรงกดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่ใหญ่ แสดงว่าวัสดุต้านทานแรงกดได้น้อย จึงเกิดรอยกดลึกและกว้างกว่าวัสดุแข็ง

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 6

เรื่อง การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

1. ให้นักเรียนช่วยสรุปเนื้อหาเรื่องการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์**	**หน่วยที่ 6** **สอนครั้งที่ 11-13** **ชั่วโมงรวม 24**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 6

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ใช้หัวกดวัสดุใดในการทดสอบ?
   - ก. หัวกดเหล็กกล้าแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์รูปกรวย
   - ข. หัวกดเพชรปลายแหลม
   - ค. หัวกดทรงกลมทำจากเหล็กกล้าหรือทังสเตนคาร์ไบด์
   - ง. หัวกดปลายเรียวรูปพีระมิด
2. หน่วยของค่าความแข็งบริเนลล์ คืออะไร?
   - ก. N/m^2
   - ข. MPa
   - ค. BHN (Brinell Hardness Number)
   - ง. HRC
3. ในการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ จะวัดค่าความแข็งจากอะไร?
   - ก. น้ำหนักของหัวกด
   - ข. ความลึกของรอยกด
   - ค. เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด
   - ง. มุมของหัวกด
4. ข้อใด ไม่ใช่ ข้อดีของการทดสอบแบบบริเนลล์?
   - ก. เหมาะกับวัสดุที่มีพื้นผิวขรุขระ
   - ข. ใช้ได้ดีกับวัสดุเนื้อเหนียวหรืออ่อน
   - ค. เหมาะกับการทดสอบชิ้นงานบางมาก
   - ง. ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยได้แม่นยำ
5. ถ้ารอยกดจากการทดสอบบริเนลล์มีขนาดใหญ่ แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร?
   - ก. มีความแข็งสูง
   - ข. เปราะ
   - ค. อ่อนหรือลดความแข็ง
   - ง. ไม่สามารถทดสอบได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 6

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 6 : การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	หน่วยที่ 6 สอนครั้งที่ 11-13 ชั่วโมงรวม 24

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 6

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ค
4.	ค
5.	ค

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

รายวิชา การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย

รหัสวิชา 30103-2009

บทเรียนโมดูลที่ 7

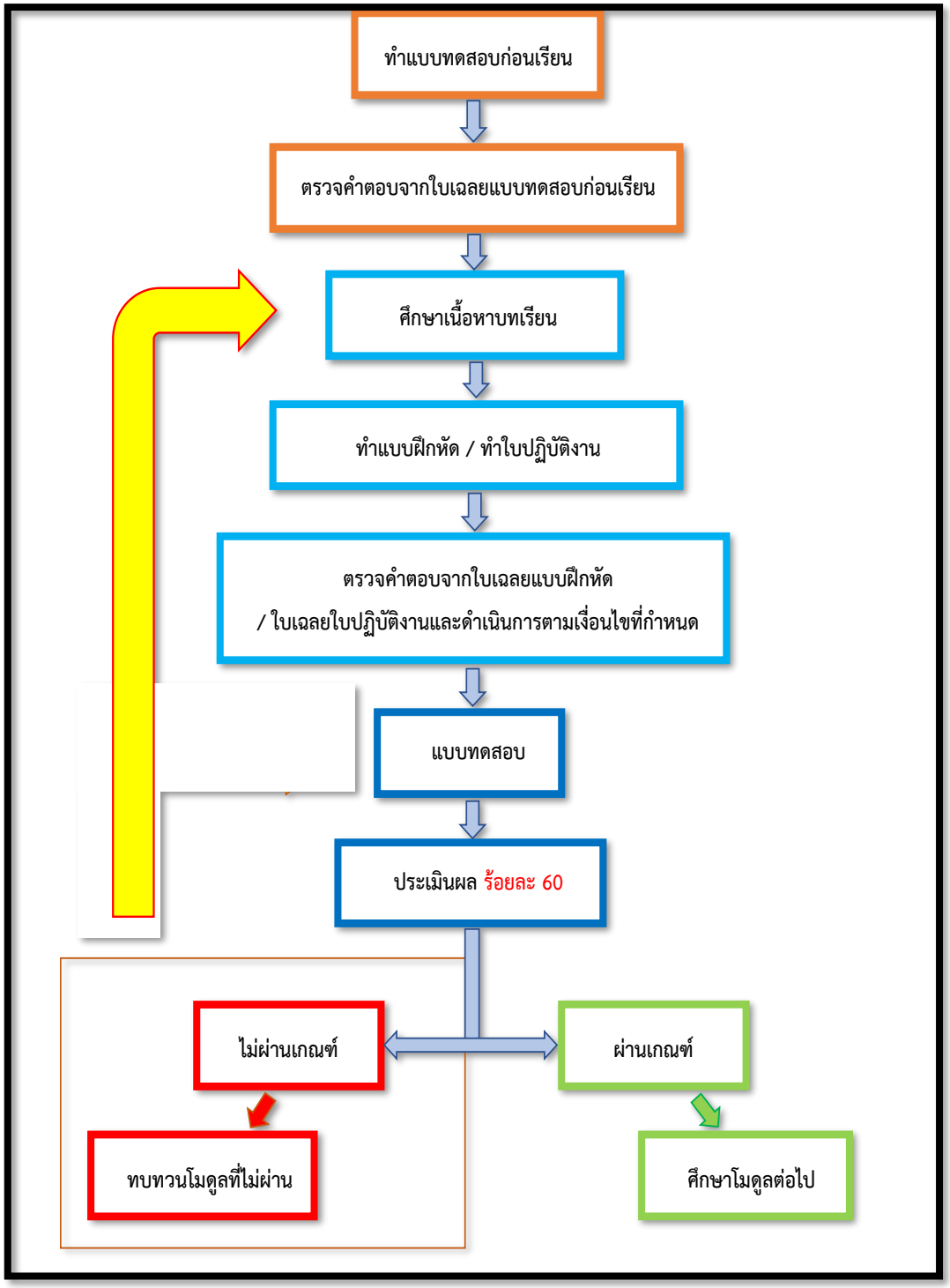
เรื่อง การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล



	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 7

คำแนะนำสำหรับผู้เรียน

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการบริการวิชาชีพงานตรวจสอบและทดสอบงานเชื่อม ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชา การบริการวิชาชีพงานตรวจสอบและทดสอบงานเชื่อม เพื่อจะได้มีแนวคิดในการปฏิบัติงานโดยทั่วไป จะสามารถให้ความรู้และเกิดประโยชน์แก่ผู้สอน ผู้เรียน ตลอดจนผู้สนใจศึกษาทั่วไปเป็นอย่างดี

ส่วนประกอบบทเรียนโมดูลประกอบด้วย

1. ใบแบบทดสอบก่อนเรียนและใบกระดาษคำตอบ
2. ใบเฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ใบจุดประสงค์
4. ใบความรู้
5. ใบแบบฝึกหัด
6. ใบเฉลยแบบฝึกหัด
7. ใบปฏิบัติงาน
8. ใบแบบทดสอบหลังเรียนและใบกระดาษคำตอบ
9. ใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 7

คำแนะนำในการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนศึกษาหลักการและเหตุผล (Prospectus) และจุดมุ่งหมาย (Objectives) ของบทเรียนโมดูลให้เข้าใจ
2. ให้ผู้เรียนปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนการใช้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้เรียนต้องมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่เปิดดูใบเฉลยคำตอบก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงาน และแบบทดสอบหลังเรียนเพราะจะทำให้ผู้เรียนขาดความมั่นใจในการเรียนด้วยตนเองและไม่เกิดความเข้าใจที่แท้จริง
4. บทเรียนโมดูลนี้ ผู้เรียนสามารถใช้เรียนได้ตามความต้องการ ความพร้อมและความสะดวกโดยไม่จำกัดเวลาเรียน และสถานที่เรียน

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

1. ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยทำเฉพาะข้อที่ผู้เรียนมีความรู้แท้จริง โปรดอย่าเดาคำตอบ ถ้าข้อใดไม่มีความรู้ให้ข้ามข้อนั้นไป โดยทำลงในกระดาษคำตอบ
2. ดูเฉลยใบแบบทดสอบก่อนเรียนแล้วประเมินผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เป็นการวัดพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนโดยไม่มีผลใด ๆ ต่อคะแนนในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้
3. ให้ผู้เรียนศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
4. ให้ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาบทเรียนจากใบเนื้อหาให้มีความรู้ความเข้าใจ
5. เมื่อศึกษาเนื้อหาบทเรียนเข้าใจดีแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด/ใบปฏิบัติงานในบทเรียนนั้น ๆ ลงในใบแบบฝึกหัด / ใบปฏิบัติงาน

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 7

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล (ต่อ)

6. เมื่อทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานแล้วให้ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบฝึกหัด/ใบเฉลยการปฏิบัติงาน
7. ถ้าผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินให้กลับไปเรียนเนื้อหาเดิม และทำแบบฝึกหัด/ปฏิบัติงานใหม่อีกครั้ง
8. เมื่อผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว ให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยทำลงในกระดาษคำตอบ
9. ตรวจคำตอบจากใบเฉลยแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน
10. ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนดผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมทบทวนเนื้อหาของบทเรียนโมดูลนี้ จนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมินที่กำหนด

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

คำชี้แจงใช้บทเรียนโมดูลที่ 7

หลักการและเหตุผล (Prospectus)

ก่อนที่จะเริ่มต้นศึกษาวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายนี้ ควรจะศึกษารายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายเสียก่อน เพื่อจะได้มีแนวคิดเกี่ยวกับวิชาการทดสอบงานเชื่อมโดยทำลายและเป็นการเตรียมพร้อมที่จะศึกษาวิชานี้ รวมทั้งแนวทางการศึกษาต่อ ซึ่งเนื้อหาที่จะนำมาศึกษาในโมดูลนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

จุดมุ่งหมาย (Objective)

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาและทดสอบผ่านบทเรียนโมดูลนี้แล้ว ผู้เรียนจะมีความรู้ในเรื่องการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

ความรู้พื้นฐาน (Prerequisites)

ในการเรียนบทเรียนโมดูลนี้ให้ได้ผลดีนั้น ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์**	**หน่วยที่ 7** **14-15** **ชั่วโมงรวม 24**

แบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 7

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ใช้หัวกดวัสดุใดในการทดสอบ?
   - ก. หัวกดเหล็กกล้าแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์รูปกรวย
   - ข. หัวกดเพชรปลายแหลม
   - ค. หัวกดทรงกลมทำจากเหล็กกล้าหรือทังสเตนคาร์ไบด์
   - ง. หัวกดปลายเรียวรูปพีระมิด
2. หน่วยของค่าความแข็งบริเนลล์ คืออะไร?
   - ก. N/m^2
   - ข. MPa
   - ค. BHN (Brinell Hardness Number)
   - ง. HRC
3. ในการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ จะวัดค่าความแข็งจากอะไร?
   - ก. น้ำหนักของหัวกด
   - ข. ความลึกของรอยกด
   - ค. เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด
   - ง. มุมของหัวกด
4. ข้อใด ไม่ใช่ ข้อดีของการทดสอบแบบบริเนลล์?
   - ก. เหมาะกับวัสดุที่มีพื้นผิวขรุขระ
   - ข. ใช้ได้ดีกับวัสดุเนื้อเหนียวหรืออ่อน
   - ค. เหมาะกับการทดสอบชิ้นงานบางมาก
   - ง. ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยได้แม่นยำ
5. ถ้ารอยกดจากการทดสอบบริเนลล์มีขนาดใหญ่ แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร?
   - ก. มีความแข็งสูง
   - ข. เปราะ
   - ค. อ่อนหรือลดความแข็ง
   - ง. ไม่สามารถทดสอบได้

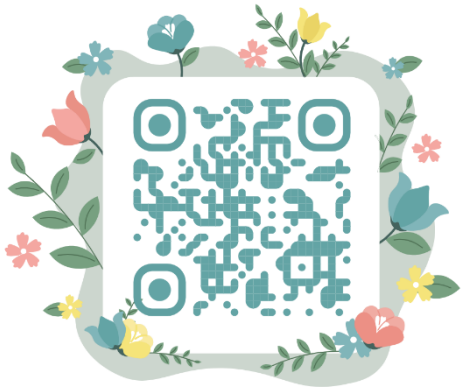
	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 7

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				



คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนโมดูลที่ 7

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ค
4.	ค
5.	ค

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์**	**หน่วยที่ 7** **14-15** **ชั่วโมงรวม 24**

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากที่ผู้เรียนได้ศึกษาเรื่องนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมาย เครื่องทดสอบ การเตรียมชิ้นงานของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ได้
2. ทำตามขั้นตอนของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ได้
3. เห็นประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ได้
4. ใช้ประโยชน์จากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์แล้วนำมาใช้ในวิชาชีพและการดำรงชีวิตได้
5. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน มีความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาดและปลอดภัย

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

ใบความรู้

หน่วยที่ 7 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

การทดสอบความแข็งแบบวิคเกอร์สได้รับการพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2464 โดย **Robert L. Smith** และ **George E. Sandland** ที่บริษัท **Vickers Ltd**เพื่อเป็นทางเลือกแทน วิธี **Brinell**ในการวัดความแข็งของวัสดุ [1] การทดสอบวิคเกอร์สมักใช้งานง่ายกว่าการทดสอบความแข็งแบบอื่น เนื่องจากการคำนวณที่จำเป็นไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวกด และหัวกดนี้สามารถใช้ได้กับวัสดุทุกชนิดโดยไม่คำนึงถึงความแข็ง หลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับการวัดความแข็งทั่วไปทั้งหมด คือการสังเกตความสามารถของวัสดุในการต้านทานการเสียรูปถาวรจากแหล่งมาตรฐาน การทดสอบวิคเกอร์สสามารถใช้ได้กับโลหะ ทุกชนิด และมีมาตราส่วนที่กว้างที่สุดแบบหนึ่งในบรรดาการทดสอบความแข็ง หน่วยความแข็งที่กำหนดโดยการทดสอบนี้เรียกว่าเลขพีระมิดวิคเกอร์ส (**HV**) หรือความแข็งพีระมิดเพชร (**DPH**) เลขความแข็งสามารถแปลงเป็นหน่วยปาสกาล ได้ แต่ไม่ควรสับสนกับความดันซึ่งใช้หน่วยเดียวกัน ค่าความแข็งจะถูกกำหนดโดยภาระที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของรอยบุ๋มไม่ใช่พื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรง ดังนั้นจึงไม่ใช่แรงกดดัน

มีการตัดสินใจว่ารูปร่างของหัวกดควรสามารถสร้างรอยประทับทางเรขาคณิตที่คล้ายกันได้โดยไม่คำนึงถึงขนาด รอยประทับควรมีจุดวัดที่ชัดเจน และหัวกดควรมีความต้านทานต่อการเสียรูปสูง รูปเพชรในรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นไปตามเงื่อนไขเหล่านี้ ได้มีการกำหนดขนาดที่เหมาะสมของ รอยประทับ บริเนลล์คือ $^3/_8$ของเส้นผ่านศูนย์กลางลูกบอล เนื่องจากเส้นสัมผัสสองเส้นที่ปลายคอร์ดยาว $3d/8$ ตัดกันที่ 136° จึงได้ตัดสินใจใช้มุมนี้เป็นมุมรวมระหว่างหน้าระนาบของปลายหัวกด ซึ่งจะทำให้มุมจากหน้าแต่ละหน้าตั้งฉากกับระนาบแนวนอนตั้งฉากเท่ากับ 22° ในแต่ละด้าน ได้มีการปรับเปลี่ยนมุมในการทดลองและพบว่าค่าความแข็งที่ได้จากวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันคงที่โดยไม่คำนึงถึงน้ำหนัก[2]ดังนั้น จึงใช้น้ำหนักที่มีขนาดแตกต่างกันลงบนพื้นผิวเรียบ ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุที่จะวัด จากนั้นหมายเลข HV จะถูกกำหนดโดยอัตราส่วน F/Aโดยที่Fคือแรงที่กระทำต่อเพชรเป็นหน่วยกิโลกรัม-แรง และAคือพื้นที่ผิวของ

รอยบุ๋มที่เกิดขึ้นเป็นหน่วยตารางมิลลิเมตร *จำเป็นต้องมีการอ้างอิง*

$$A = \frac{d^2}{2\sin(136^\circ/2)},$$

ซึ่งสามารถประมาณได้โดยการประเมินค่าเทอมไซน์ให้ได้

$$A \approx \frac{d^2}{1.8544},$$

โดยที่dคือความยาวเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมที่หัวกดเหลืออยู่เป็นมิลลิเมตร ดังนั้น[3]

$$\mathrm{HV} = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2} \quad [\mathrm{kgf/mm^2}]\text{-}$$

โดยที่Fมีหน่วยเป็นkgfและdมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์**	**หน่วยที่ 7** **14-15** **ชั่วโมงรวม 24**

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์คือการวัดค่าความแข็งของวัสดุโดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้หัวกดเพชรทรงปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม กดลงบนผิวชิ้นงานด้วยแรงที่กำหนด จากนั้นใช้กล้องจุลทรรศน์วัดขนาดของรอยกด (เส้นทแยงมุม) เพื่อคำนวณหาค่าความแข็ง โดยชิ้นงานต้องได้รับการเตรียมผิวให้เรียบก่อนทดสอบ เพื่อให้เห็นรอยกดได้ชัดเจน การทดสอบนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพวัสดุ การวิเคราะห์ความเสียหาย และการจำแนกประเภทวัสดุที่แตกต่างกัน

1. ความหมาย เครื่องทดสอบ และการเตรียมชิ้นงาน

- **ความหมายของการทดสอบวิกเกอร์:**เป็นการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุโดยการกดหัวกดเพชรทรงปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมลงบนผิวชิ้นงาน แล้ววัดขนาดของรอยยุบที่เกิดขึ้นเพื่อหาค่าความแข็งของวัสดุนั้นๆ
- **เครื่องทดสอบ (Hardness Tester):**คือเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ โดยมีส่วนประกอบหลักคือ
    - **หัวกด (Indenter):** เป็นหัวกดเพชรรูปทรงปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมที่แม่นยำ
    - **ระบบโหลด (Loading System):** เป็นระบบที่ใช้ในการกำหนดและปรับแรงกด (Load) ที่กดลงบนหัวกด
    - **ระบบวัด (Measuring System):** ประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงสำหรับวัดความยาวของรอยกด (เส้นทแยงมุม **d**) และเครื่องมือประมวลผลเพื่อคำนวณค่าความแข็งวิกเกอร์ (HV)
- **การเตรียมชิ้นงาน:**ก่อนการทดสอบ ผิวชิ้นงานจะต้องถูกเตรียมให้มีความเรียบและสะอาดอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้รอยกดที่ชัดเจนและแม่นยำ สามารถวัดขนาดของรอยกดได้ง่าย

2. ขั้นตอนของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

1. **เตรียมชิ้นงาน:** ทำความสะอาดและเตรียมผิวของชิ้นงานให้เรียบและเป็นเงา เพื่อให้เห็นรอยกดได้อย่างชัดเจน
2. **ตั้งค่าเครื่องมือ:** เลือกแรงกด (Load) และเวลาที่ใช้ในการกดให้เหมาะสมกับชนิดและความแข็งของวัสดุ
3. **กดหัวกด:** วางชิ้นงานบนแท่นทดสอบ แล้วใช้หัวกดเพชรทรงปิรามิด กดลงบนผิวชิ้นงานด้วยแรงที่กำหนดเป็นเวลาที่กำหนด
4. **วัดรอยกด:** ใช้กล้องจุลทรรศน์วัดความยาวของรอยกด (เส้นทแยงมุม **d**) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน
5. **คำนวณค่าความแข็ง:** นำค่าความยาวของรอยกด (**d**) และแรงกด (**P**) มาคำนวณหาค่าความแข็งวิกเกอร์ (HV) โดยใช้สูตรที่กำหนดไว้

3. ประโยชน์ คุณค่า และความสำคัญ

- **การควบคุมคุณภาพ:**ใช้ตรวจสอบว่าวัสดุมีค่าความแข็งตรงตามข้อกำหนดหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุจะมีความทนทานและประสิทธิภาพที่ต้องการ
- **การวิเคราะห์ความเสียหาย:**ใช้ในการตรวจสอบลักษณะความแข็งของรอยแตกหรือความเสียหายบนชิ้นงาน เพื่อหาสาเหตุของความล้มเหลว

- **การจำแนกประเภทวัสดุ:**ใช้ในการเปรียบเทียบความแข็งของวัสดุต่างๆ เพื่อจำแนกประเภทของวัสดุ เช่น โลหะผสมที่ต่างกัน
- **การทดสอบวัสดุที่หลากหลาย:**สามารถใช้ทดสอบวัสดุได้หลากหลายชนิด ตั้งแต่โลหะ เซรามิก ไปจนถึงสารเคลือบผิว โดยเฉพาะวัสดุที่มีความบางหรือความแข็งสูง
- **ความละเอียดสูง:**ให้ค่าความแข็งที่มีความละเอียดสูง และมีความแม่นยำ เนื่องจากใช้หัวกดเพชรที่มีความแข็งสูงและสามารถวัดรอยกดขนาดเล็กได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง

ประเภทของการทดสอบความแข็ง

ถึงแม้ว่า การทดสอบความแข็งส่วนใหญ่จะดูเหมือนมีวิธีการที่ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ การใช้แรงกด แต่การทดสอบค่าความแข็งสำหรับงานโลหะก็ยังสามารถแบ่งได้หลากหลายประเภท ซึ่งปัจจุบันมีวิธีที่ได้รับความนิยม 3 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้

การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)

การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ หรือ **Brinell Hardness Test** คือ วิธีการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุที่ได้รับความนิยมมากและแม่นยำจนถูกนำไปใช้ในงานระดับสากล ผ่านการคิดค้นและพัฒนามาเนิ่นนานนับร้อยปีเหมือนกัน วิธีการวัดความแข็งแบบบริเนลล์จะใช้หัวลูกบอลเหล็กกล้าชุบ (ลูกบอลคาไบด์) มีให้เลือกหลายขนาด แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ขนาด 10 มม. กดลงไปบนพื้นผิวที่ต้องการวัดค่าความแข็ง ทิ้งไว้ชักพักแล้วดึงเอาแรงกดออก จากนั้นค่อยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยที่ปรากฏบนพื้นผิว เพื่อนำไปคำนวณตามสูตรเฉพาะต่อไป หรือบางครั้งอาจไม่ต้องคำนวณตามสูตรแต่เทียบตามตารางความแข็งของบริเนลล์คร่าวๆ ก็ได้เหมือนกัน|

ข้อดี-ข้อเสียของการทดสอบการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (**Brinell Hardness Test)** การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์สามารถที่ให้ผลลัพธ์แม่นยำ แม้ว่าโครงสร้างพื้นผิววัสดุที่นำมาทดสอบจะไม่

เรียบเสมอกัน รอยกดจะค่อนข้างกว้างและลึก ไม่เหมาะกับการทดสอบวัสดุบางและเล็ก แต่เหมาะสำหรับวัสดุที่จะนำไปตีขึ้นรูปและการสร้างที่มีสเกลงานค่อนข้างใหญ่

การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ หรือ **Rockwell Hardness Test** คือ วิธีการทดสอบค่าความแข็งแบบดั้งเดิมที่ถูกคิดค้นมานานร้อยกว่าปี โดย **Stanly P. Rockwell** ได้รับความนิยมก็เพราะเป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์และเวลาไม่มากก็ทราบผล ส่วนวิธีการนี้ก็จะมีการใช้หัวกด 2 รูปแบบ คือ เพชรทรงกรวย ไว้ใช้กับโลหะที่แข็งที่สุด และ ลูกเหล็กทรงกลม ไว้ใช้กับ โลหะทั่วไป (แต่ละหัวกดก็มีหลายขนาดด้วยเช่นกัน) ส่วนวิธีการทดสอบก็จะเริ่มจากใช้แรงกดทั่วไป เหมือนจิ้มไว้เป็นตำแหน่งที่จะทดสอบก่อนจะลงด้วยแรงกดหลักตามมาตรฐานกำหนดไว้อีกครั้ง หลังจากนั้นจะประเมินต่อว่า ความลึกบนวัสดุหลังถูกกดด้วยแรงกดคงที่มีมากน้อยแค่ไหน เพื่อหาค่าความแข็งของวัสดุให้มีความแม่นยำที่สุดต่อไป

ข้อดี-ข้อเสียของการทดสอบการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (**Rockwell Hardness Test)** เป็นการทดสอบหาค่าความแข็งที่สามารถทดสอบวัสดุได้ครอบคลุมหลายชนิดทด การทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว อ่านค่าได้ตรง แต่ก็อาจคาดเคลื่อนจากแรงกดทั่วไปได้ ทำให้ต้องพิถีพิถันในการเตรียมผิววัสดุที่ใช้ทดสอบให้ไร้รอยขีดข่วน

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ หรือ หรือ **Vickers Hardness Test** คือ วิธีการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุที่คล้ายกับบริเนลล์ ใช้แรงกด เพื่อวัดรอยยุบบนวัสดุ แต่หัวที่กดลงบนผิวผิวจะต่างกัน จากที่บริเนลล์เลือกใช้เป็นลูกเหล็กก้อนกลม วิกเกอร์จะเลือกใช้หัวกดแบบทรงเพชรปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม แล้วใช้กล้องจุลทรรศน์สังเกตรอยกด ดูแนวเส้นทแยงมุม เรียกได้ว่า ดูความแข็งของวัสดุในระดับไมโครเลยทีเดียว ซึ่งแรงกดในการวัดจะมีตั้งแต่ 10 **gf** ไปจนถึง 100 **kgf** หากการวัดค่าวัสดุใช้แรงกดไม่เกิน 1 **kgf** ก็จำเป็นที่จะต้องขัดด้วยเครื่องจักรหรือเครื่องขัดเงาไฟฟ้าก่อนทดสอบ เพื่อให้ได้รับผลลัพธ์การทดสอบที่แม่นยำที่สุด เหมาะกับการวัดความแข็งของเหล็ก

ข้อดี-ข้อเสีย ของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (**Vickers Hardness Test)** การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ มีความโดดเด่นที่ให้ความแม่นยำและละเอียดสูงมาก สามารถวัดความแข็งถึงระดับของโครงสร้างจุลภาคได้ แต่วิธีการนี้มักมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบอื่น เพราะราคาของเครื่องที่ใช้ อีกทั้งยังเป็นการวัดที่มีความละเอียดมาก การเตรียมพื้นผิววัสดุต้องทำอย่างสะอาดและพิถีพิถัน

การทดสอบความแข็งแบบอื่นที่น่าสนใจ

- **Knoop Hardness Test คือ** วิธีทดสอบค่าความแข็งของวัสดุ ที่มีความคล้ายกับวิธีของ **Vickers** แต่วิธีนี้จะเหมาะกับวัสดุที่เปราะบาง มีโอกาสแตกหักง่าย หรือยืดหยุ่น อย่าง ยาง ฯลฯ
- **Shore Hardness Test คือ** วิธีทดสอบค่าความแข็งของวัสดุ ด้วยการปล่อยหัวค้อนปลายเพชร มักนิยมใช้กับวัสดุที่มีความยืดหยุ่น เช่น ยาง หรือพลาสติก

- **Mohs Hardness Scale คือ** วิธีทดสอบค่าความแข็งของวัสดุ ด้วยการเอาวัตถุอื่นมาขีดบนผิวของวัสดุที่ต้องการวัด จะมีให้เลือก **10** ระดับ ตั้งแต่ **Talc** ไปจนถึง เพชร เป็นวิธีที่ฟังดูง่ายๆ แต่การวัดยังไม่แม่นยำเท่าไหร่นัก

นอกจากนี้ก็ยังมีการทดสอบวัดความแข็งรูปแบบอื่นอีกมากมาย ซึ่งเหมาะกับการใช้งานวัสดุประเภทอื่นๆ ตาม**วิธีการที่แตกต่างกันไป**

การใช้เครื่องมือวัดความแข็ง

ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบแบบไหนต่างก็ต่างก็ต้องอาศัยความแม่นยำของผู้วัดและอ่านค่า เพราะปัจจัยแวดล้อมเล็กๆ น้อยๆ นั้นอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ และความคลาดเคลื่อนนี้อาจส่งผลต่อกระบวนการผลิต ดังนั้น ในการใช้เครื่องมือวัดความแข็ง จึงต้องค่อยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมผิววัสดุ ระยะเวลาที่ใช้ในการกด ความรวดเร็วในการกด อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ทั้งหมดล้วนส่งผลต่อการทดสอบ จึงเป็นเหตุผลที่ควรให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ดำเนินการทดสอบ

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

ใบแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 7

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. หลักการของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์คืออะไร? และมีจุดเด่นอย่างไรเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น

.....
.....
.....

2. หัวกดทำจากเพชรแท้ มีลักษณะเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม มุมระหว่างด้านตรงข้ามของพีระมิดคือ 136 องศา

.....
.....
.....

3. ในการคำนวณค่าความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Number – VHN หรือ HV) ใช้สูตรใด และตัวแปรในสูตรมีความหมายว่าอย่างไร

.....
.....
.....

4. ข้อดีของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เมื่อเทียบกับแบบบริเนลล์และร็อกเวลล์ มีอะไรบ้าง

.....
.....
.....

5. หากรอยกดจากหัวกดวิกเกอร์มีขนาดเล็ก แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร

.....
.....
.....

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

ใบเฉลยแบบฝึกหัดโมดูลย่อยที่ 7

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. หลักการของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์คืออะไร? และมีจุดเด่นอย่างไรเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น?

หลักการของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ คือการใช้หัวกดเพชรรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม (มุม 136°) กดลงบนผิววัสดุด้วยแรงที่กำหนด แล้ววัดความยาวของเส้นทแยงมุมของรอยกดจุดเด่นคือ ใช้วัดวัสดุได้หลากหลายทั้งแข็งและอ่อน, ใช้กับชิ้นงานขนาดเล็กหรือบางได้ดี และให้ค่าที่แม่นยำ

2. หัวกดที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ ทำจากวัสดุใด และมีลักษณะอย่างไร?

หัวกดทำจากเพชรแท้ มีลักษณะเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม มุมระหว่างด้านตรงข้ามของพีระมิดคือ 136 องศา

3. ในการคำนวณค่าความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Number – VHN หรือ HV) ใช้สูตรใด และตัวแปรในสูตรมีความหมายว่าอย่างไร?

สูตร:

HV=1.854×Fd2HV = \frac{1.854 \times F}{d^2}HV=d21.854×F

โดยที่

- **HV** = ค่าความแข็งวิกเกอร์
- **F** = แรงที่ใช้กด (หน่วย: kgf หรือ N)
- **d** = ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมรอยกด (หน่วย: mm)

4. ข้อดีของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เมื่อเทียบกับแบบบริเนลล์และร็อกเวลล์ มีอะไรบ้าง?

- ใช้ได้กับวัสดุที่มีความแข็งหลากหลาย ทั้งแข็งและอ่อน
- เหมาะกับชิ้นงานขนาดเล็กและบาง เช่น ฟอยล์ โลหะบาง
- ให้รอยกดขนาดเล็ก จึงวัดในจุดเฉพาะได้
- ให้ค่าที่แม่นยำและสามารถเทียบค่าระหว่างวัสดุต่างชนิดกันได้ง่าย

5. หากรอยกดจากหัวกดวิกเกอร์มีขนาดเล็ก แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร?

แสดงว่าวัสดุนั้นมีความแข็งสูง เพราะสามารถต้านทานแรงกดได้ดี ทำให้เกิดรอยกดเล็ก ซึ่งบ่งบอกถึงโครงสร้างที่แน่นและแข็งแรง

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

ใบปฏิบัติงานโมดูลที่ 7

เรื่อง การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

1. ให้นักเรียนช่วยสรุปเนื้อหาเรื่องการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย** **โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์**	**หน่วยที่ 7** **14-15** **ชั่วโมงรวม 24**

แบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 7

คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 5 ข้อ

2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบ

3. เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 30 นาที

1. การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ใช้หัวกดวัสดุใดในการทดสอบ?
   - ก. หัวกดเหล็กกล้าแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์รูปกรวย
   - ข. หัวกดเพชรปลายแหลม
   - ค. หัวกดทรงกลมทำจากเหล็กกล้าหรือทังสเตนคาร์ไบด์
   - ง. หัวกดปลายเรียวรูปพีระมิด
2. หน่วยของค่าความแข็งบริเนลล์ คืออะไร?
   - ก. N/m^2
   - ข. MPa
   - ค. BHN (Brinell Hardness Number)
   - ง. HRC
3. ในการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ จะวัดค่าความแข็งจากอะไร?
   - ก. น้ำหนักของหัวกด
   - ข. ความลึกของรอยกด
   - ค. เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด
   - ง. มุมของหัวกด
4. ข้อใด ไม่ใช่ ข้อดีของการทดสอบแบบบริเนลล์?
   - ก. เหมาะกับวัสดุที่มีพื้นผิวขรุขระ
   - ข. ใช้ได้ดีกับวัสดุเนื้อเหนียวหรืออ่อน
   - ค. เหมาะกับการทดสอบชิ้นงานบางมาก
   - ง. ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยได้แม่นยำ
5. ถ้ารอยกดจากการทดสอบบริเนลล์มีขนาดใหญ่ แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร?
   - ก. มีความแข็งสูง
   - ข. เปราะ
   - ค. อ่อนหรือลดความแข็ง
   - ง. ไม่สามารถทดสอบได้

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 7

ชื่อ-สกุล..... ระดับ..... รหัสนักเรียน/นักศึกษา.....

.

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

คะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนน ..... คะแนน

สรุปผล ( ) ผ่านเกณฑ์

( ) ไม่ผ่านเกณฑ์

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจ

(.....)

	หลักสูตร : ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชา : การทดสอบงานเชื่อมโดยทำลาย โมดูลที่ 7 : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	หน่วยที่ 7 14-15 ชั่วโมงรวม 24

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนโมดูลที่ 7

ข้อที่	คำตอบ
1.	ค
2.	ค
3.	ค
4.	ค
5.	ค