



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
เรื่อง วิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8

Creating and Evaluating the Effectiveness of Computer Assisted
Instruction Program Subject Manufacturing Processes Chapter 5-8.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัลลภ ภูผา
Assist. Prof. Vallop Phupha

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงานของ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ได้รับการอุดหนุนงบประมาณในการดำเนินการ
ปี พ.ศ. 2553

บทคัดย่อ

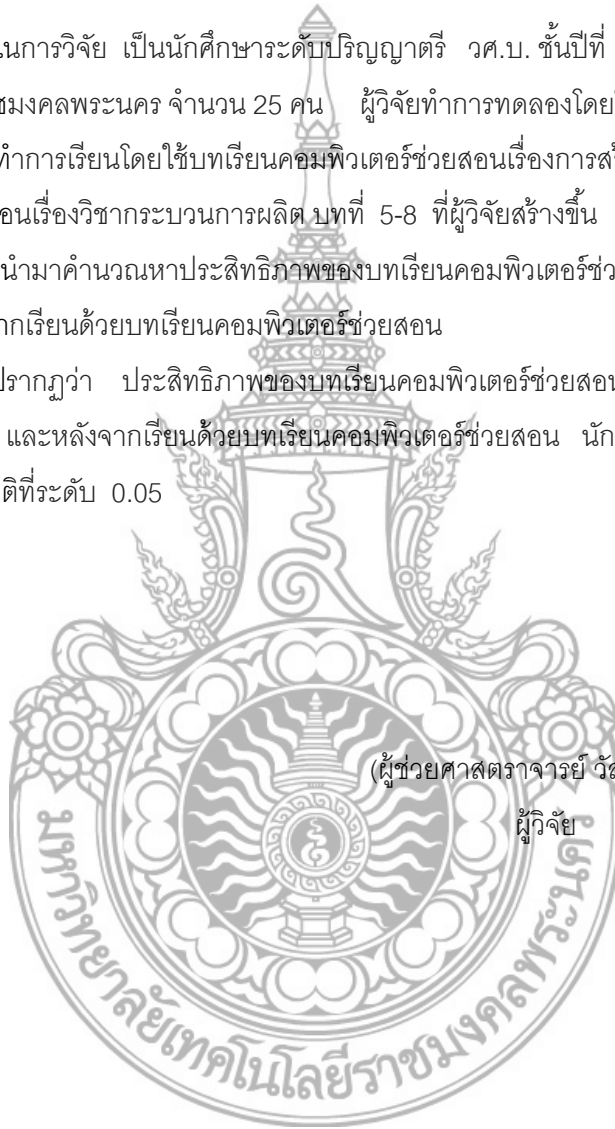
การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน 90 /90 และวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ. ชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จำนวน 25 คน ผู้วิจัยทำการทดลองโดยให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน แล้วให้ทำการเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น หลังจากนั้นให้ทำแบบทดสอบหลังเรียน แล้วนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผลการวิจัยครั้งนี้ปรากฏว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน 90 /90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัลลภ ภูผา)

ผู้วิจัย

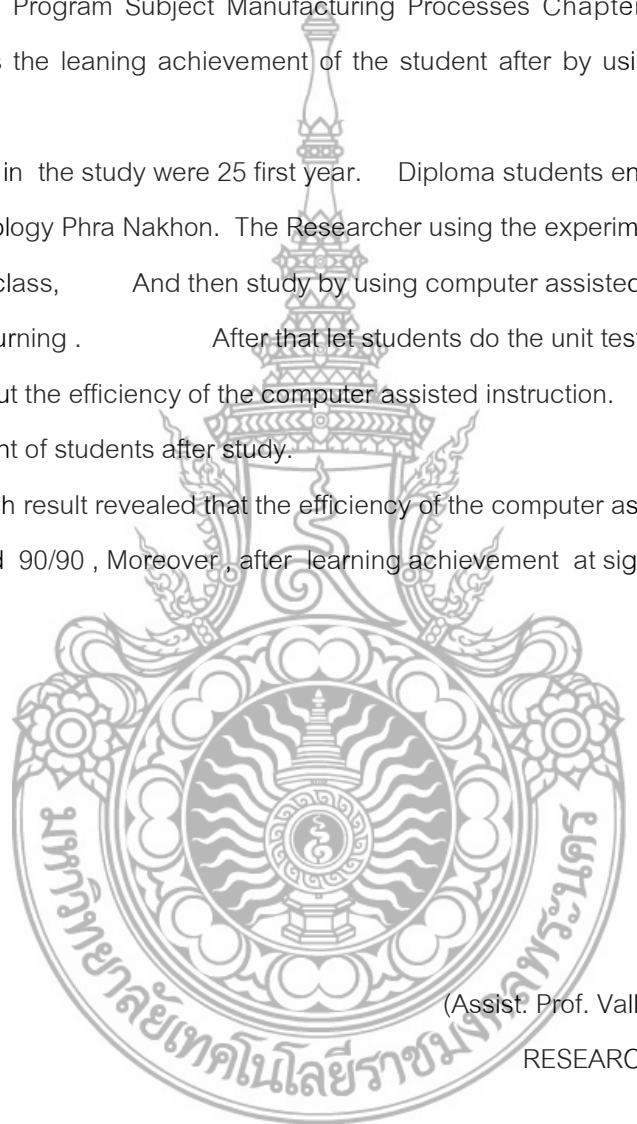


ABSTRACT

The purposes of the research were to create and efficiency validation of computer Assisted for the courses of practiced to reading Creating and Evaluating the Effectiveness of Computer Assisted Instruction Program Subject Manufacturing Processes Chapter 5-8. based standard 90/90 and analyses the leaning achievement of the student after by using computer assisted instruction .

The subjects in the study were 25 first year. Diploma students enrolled in Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. The Researcher using the experiment by let the students do until test before class, And then study by using computer assisted instruction focused on practiced to basic turning . After that let students do the unit test again at the class and calculate to find out the efficiency of the computer assisted instruction. And analyzed the learning achievement of students after study.

The research result revealed that the efficiency of the computer assisted Instruction was efficient in standard 90/90 , Moreover , after learning achievement at significant level of 0.05.



(Assist. Prof. Vallop Phupha)

RESEARCHER

สารบัญ

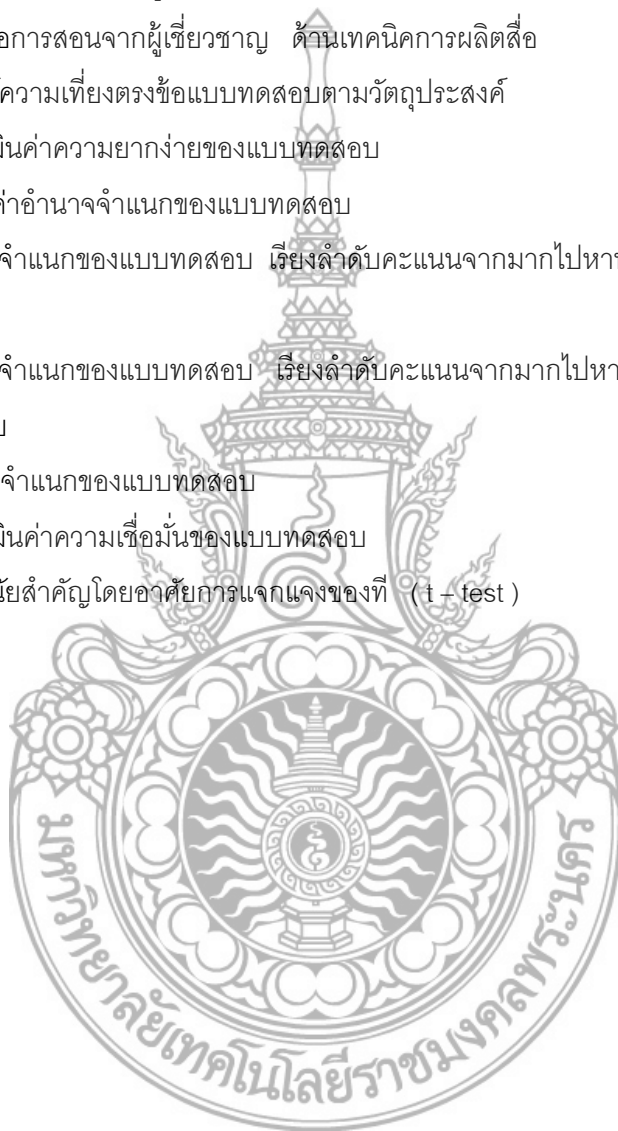
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
สารบัญ	๙
สารบัญตาราง	๑๑
สารบัญภาพ	๑๑
บทนำ	1
- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
- วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
- ขอบเขตของการวิจัย	2
- ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้	2
- ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	2
- เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	3
- สมมติฐานการวิจัย	5
- ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
- การวิเคราะห์เนื้อหาวิชา	6
- การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	7
- การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	8
- ความหมายคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	9
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	10
วิธีการวิจัย	12
- ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้	12
- กลุ่มตัวอย่าง	12
- เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	12
- การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	15
- สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	16
ผลของการวิจัย	19
- ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	19
- สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	22
- สรุปผลการวิจัย	22
- อภิปรายผล	23
- ข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	27
- ราชานามผู้เชี่ยวชาญตรวจสื่อการสอน และหนังสือขอเชิญ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสื่อการสอน	28
- ขอบข่ายของเนื้อหาวิชา	30
- แบบประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหา	31
- แบบประเมินสื่อการสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ	33
- เกณฑ์การประเมินสื่อการสอน	35
- ผลการประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเนื้อหา	36
- ผลการประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ	37
- ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของข้อสอบกับวัตถุประสงค์	38
- แสดงผลการประเมินหาค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ ฯ	39
- แสดงผลการประเมินหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ ฯ	41
- แสดงผลการประเมินหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ฯ	48
- ผลการคำนวณวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	49
- แสดงการทดสอบนัยสำคัญโดยอาศัยการแจกแจงของที (t – test)	53
- แบบทดสอบในการวิจัย	55
- เฉลยแบบทดสอบในการวิจัย	62
- ลักษณะรายวิชา กระบวนการผลิต	63
- บทดำเนินเรื่อง	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงการทดลองที่มีกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่ม ทำการทดลองก่อนและหลังการทดลองทันที	12
2. แสดงค่าความคิดเห็นของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจากผู้เชี่ยวชาญ	19
3. แสดงค่าประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเนื้อหา	36
4. แสดงค่าประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ	37
5. แสดงการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงข้อแบบทดสอบตามวัตถุประสงค์	38
6. แสดงผลการประเมินค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ	39
7. แสดงการประเมินค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ	41
8. แสดงหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ เรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย กลุ่มได้คะแนนสูง	43
9. แสดงหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ เรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย กลุ่มได้คะแนนน้อย	44
10. แสดงผลค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ	45
11. แสดงผลการประเมินค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ	46
12. แสดงการทดสอบนัยสำคัญโดยอาศัยการแจกแจงของที (t – test)	53



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	3
2. แสดงขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	4
3. แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	8



บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปฏิบัติอาชีพราชการครูสายการสอนหรือเป็นอาจารย์ผู้สอน เมื่อได้รับการสอบคัดเลือกแต่งตั้งให้มาปฏิบัติหน้าที่ ถ้าไม่มีประสบการณ์การสอนหรือไม่มีความรู้เชี่ยวชาญในเนื้อหาที่สอน ผู้สอนต้องศึกษาค้นคว้าหาความรู้ให้เข้าใจจัดเตรียมการสอนด้านเนื้อหาและอุปกรณ์สื่อการสอน ดังนั้นการสอนในวิชาเดิมหลายครั้งหลายภาคเรียน จะทำให้ผู้สอนมีความรู้อย่างเชี่ยวชาญและมีการพัฒนาทักษะการสอน นอกจากนี้จากงานหน้าที่หลัก คือ การสอนและยังมีภาระหน้าที่อย่างอื่นอีก เช่นงานธุรการด้านต่างๆ หรือกิจกรรมต่าง ๆ ในหน่วยงานตามที่ได้รับมอบหมายจากผู้บริหาร นอกจากนี้สถานศึกษาในปัจจุบันยังมีนโยบายพัฒนาด้านอื่น ๆ เช่น การพัฒนาบุคลากร การดำเนินงานวิจัย การดำเนินงานโครงการต่างๆ ที่ตอบสนองของความต้องการของชุมชนหรือองค์กรของรัฐ จากภาระงานหน้าที่ทั้งหมดของผู้สอนดังที่กล่าวมาต้องปฏิบัติควบคู่กับการสอน ทำให้มีผลกระทบต่อหน้าที่หลัก คือ การสอนไม่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัญหาของอาจารย์แต่ละท่าน

ปัจจุบันความเจริญทางเทคโนโลยี มีบทบาทต่อการพัฒนากิจการต่างๆ มาก การนำเทคโนโลยีมาใช้พัฒนาสื่อการเรียนการสอนเป็นวิธีการที่อาจารย์ผู้สอนให้ความสนใจ มีการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์สื่อสารและสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ “ คอมพิวเตอร์ ” และได้มีการนำมาใช้เพื่อการศึกษากันอย่างแพร่หลาย (กรมการศึกษานอกโรงเรียน , 2541 : 2)

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนหมายถึง สื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อประสม ได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว วิดีทัศน์ และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียน หรือองค์ความรู้ในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติและโครงสร้างของเนื้อหา มีเป้าหมาย คือ ดึงดูดความสนใจ และกระตุ้นผู้เรียนให้เกิดความกระตือรือร้น ช่วยให้ผู้เรียนที่เรียนอ่อนสามารถใช้เวลานอกเวลาเรียนในการฝึกฝนทักษะและเพิ่มเติมความรู้ เพื่อที่จะปรับปรุงการเรียนของตนให้ทันผู้เรียนคนอื่นได้ ดังนั้นผู้สอนจึงสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ไปใช้ในการสอนเสริมหรือสอนทบทวนการสอนปกติในชั้นเรียนได้ โดยที่ผู้สอนไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการสอนซ้ำกับผู้เรียนที่เรียนตามไม่ทันจัดการสอนเพิ่มเติม (ถานอมพร เลหาจรัสแสง , 2541 : 7 – 12)

ปัญหาของผู้ทำวิจัย คือการสอนวิชาที่มีนักศึกษาจำนวนตั้งแต่ 30-40 คน ต่อการสอน 1 ครั้ง ลักษณะเนื้อหาวิชามีทฤษฎีและปฏิบัติ การสอนวิชาดังกล่าวจำเป็นต้องสอนสาธิตและมีทฤษฎีเข้ามาเกี่ยวข้อง สอนโดยการแบ่งนักศึกษาออกออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ แล้วสอนสาธิตทุกกลุ่มจึงจะทำให้นักศึกษาได้รับความรู้ตามวัตถุประสงค์การสอนที่ตั้งไว้ จากลักษณะการสอนดังกล่าวอาจารย์ผู้สอนต้องเหนื่อยมากกว่าปกติที่สอนครั้งเดียว เพราะการสอนสาธิตครั้งเดียวทั้งห้อง อาจมีนักศึกษาบางคนที่ยังไม่เข้าใจเนื่องจากมองดูการสาธิตไม่เห็นชัดเจนและไม่กล้าถามก็ทำให้นักศึกษาดังกล่าวไม่สามารถปฏิบัติงานตามวัตถุประสงค์การสอนได้ ทำให้การฝึกปฏิบัติงานของนักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ยังไม่ได้ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์เป็นสื่อในการสอนเพื่อใช้แก้ปัญหาของผู้วิจัยในการสอนปัจจุบัน คือ ประกอบการสอนเป็นกลุ่มเล็กหรือกลุ่มใหญ่ สอนทบทวนนักศึกษาที่ยังไม่เข้าใจและบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยอาจารย์ใหม่ที่ยังไม่มีประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญในการสอนหรืออาจารย์ที่ได้รับมอบหมายให้มาสอนแทน เนื่องจาก

ผู้สอนประจำติดุระราชการ เพื่อให้การเรียนการสอนดำเนินไปอย่างต่อเนื่องซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ การฝึกปฏิบัติงานของนักศึกษา

วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8
2. เพื่อหาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน บทที่ 5 เรื่องการแปรรูปวัสดุ บทที่ 6 เรื่องการต่อวัสดุ บทที่ 7 เรื่องการตกแต่งผิวสำเร็จ บทที่ 8 เรื่อง การวัดการทดสอบและการตรวจสอบทางวิศวกรรม

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เนื้อหาบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยอ้างถึงที่ใช้ทำเป็นสื่อในการสอนนี้ ใช้เนื้อหาวิชาการกระบวนการผลิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรปรับปรุงปี 2550 ที่ใช้ในการสอนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2553
2. ลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จะจัดทำเป็นโปรแกรมบรรจุลงในแผ่นดีวีดี หรือ วีซีดี ผู้เรียนหรือผู้ใช้สื่อจะต้องนำแผ่นใส่ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถอ่านข้อมูลได้จากนั้นโปรแกรมจะทำงานโดยอัตโนมัติแสดงภาพหน้าจอหลักให้ทราบ ผู้เรียนหรือผู้ใช้สามารถเลือกเนื้อหาที่ต้องการเรียนรู้ได้ โดยการเลือกหัวข้อที่ต้องการ โปรแกรมจะแสดงเนื้อหาทั้งภาพและเสียงในเนื้อหานั้น ๆ เมื่อเรียนรู้จบ มีแบบทดสอบ 4 หัวเลือกให้ทำ เมื่อทำเสร็จทุกข้อ โปรแกรมจะบอกผู้เรียนว่าผ่านการทดสอบหรือไม่ โดยตั้งเกณฑ์ผ่าน 80 % ขณะการใช้งานบทเรียนผู้เรียนสามารถเลือกพักหยุดชั่วคราว หรือออกจากโปรแกรมได้ตลอดเวลา
3. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2553 โดยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น และวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีรายละเอียดการวิจัยดังนี้

1. ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการทดลองที่มีกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่ม ทำการทดสอบก่อนและทดสอบหลังการทดลองทันที

(One – Group Pretest – Posttest Design)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

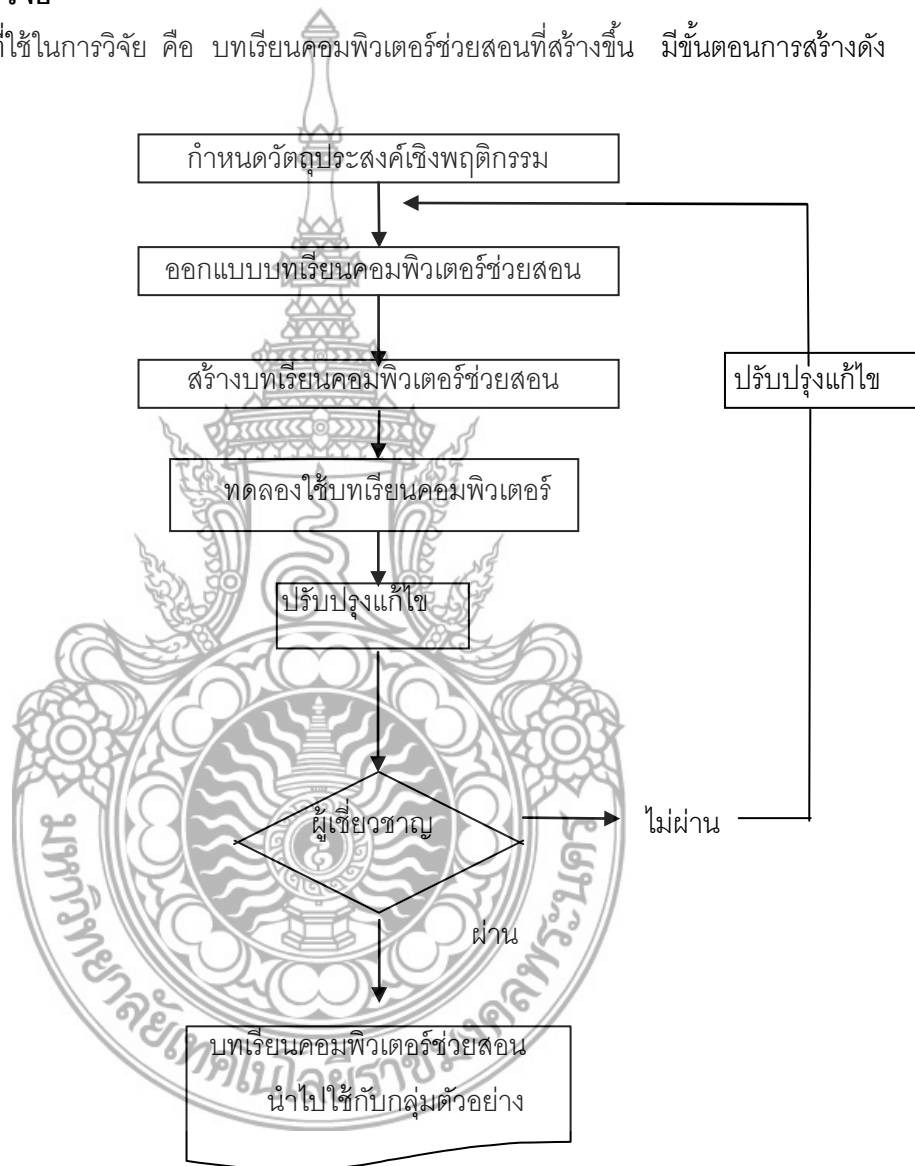
1. ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาช่างอุตสาหกรรมที่เปิดสอน ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาช่างอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ลงทะเบียนเรียนในวิชาหรือเนื้อหาวิชาตรงกับหัวข้องานวิจัยของผู้วิจัย ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวนนักศึกษาทั้งห้อง เพื่อนำมาทดลองและใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนซึ่งมีอาจารย์ผู้สอนและผู้วิจัยควบคุม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น มีขั้นตอนการสร้างดัง

ภาพที่ 1

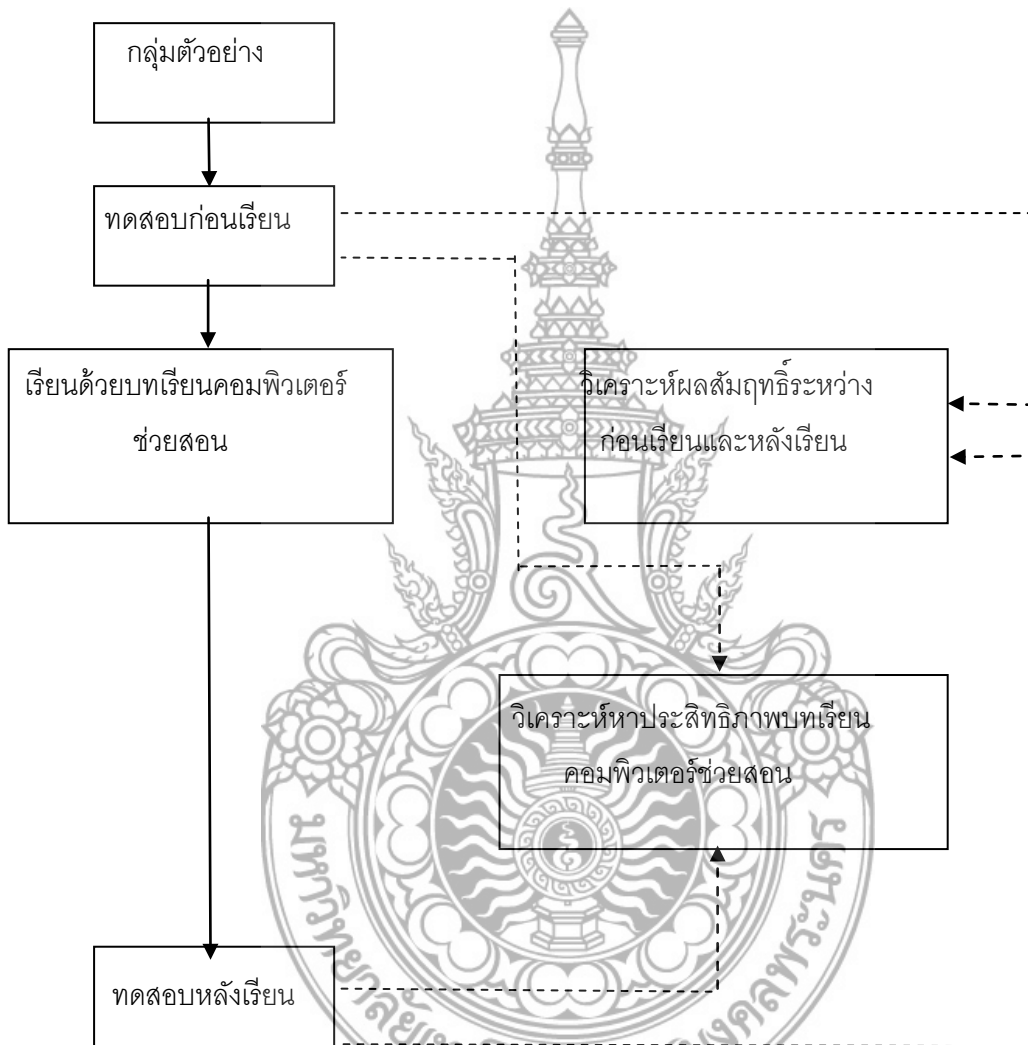


ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดการทดลอง ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 ดังนี้

1. การเตรียมสถานที่
2. แจกแบบทดสอบให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน

3. ทำการสอนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
4. แจกแบบทดสอบเดิม ทำแบบทดสอบ
5. นำผลที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และนำผลที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบหลังเรียน ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล โดยการคำนวณค่าทางสถิติ ในการวิเคราะห์แบบทดสอบ การคำนวณค่าความยากง่าย (Difficulty Power) ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ซึ่งสถิติในการวิเคราะห์ ข้อมูลดังนี้

1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบทดสอบ

1.1 หาค่าความยากง่าย (Difficulty Power) และค่าอำนาจจำแนก

(Discrimination Power) ของแบบทดสอบ

1.2 หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบ

1.3 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

2. การวัดความเที่ยงตรงของข้อสอบตามวัตถุประสงค์

3. การทดสอบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและคะแนนหลังเรียน

4. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) คือ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องตามชื่อเรื่อง
แผนงานวิจัย

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

สมมติฐานการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน

2. หลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น นักศึกษามีความรู้เพิ่มมากขึ้น

นัยสำคัญที่ .05

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หน่วยงานของผู้วิจัยได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งผ่านการหาประสิทธิภาพแล้วทำให้ผู้ที่นำไปใช้ในการเรียนการสอนมีความมั่นใจว่า สามารถใช้ในการประกอบการเรียนในชั้นเรียนได้ตั้งแต่ปีการศึกษาที่ 2554

2. นักศึกษาสามารถใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนศึกษาก่อนเรียนในชั้นหรือทบทวนนอกเวลาได้

3. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น ช่วยแก้ปัญหาในการจัดการเรียนการสอนของผู้วิจัย และอาจารย์ผู้สอนท่านอื่นๆ เรื่อง “รอยต่อการถ่ายทอดทางการศึกษา” ตลอดจนบุคลากรในหน่วยงานอื่น ๆ หรือองค์กรต่าง ๆ ที่นำไปใช้และทำให้เกิดประโยชน์ในการปฏิบัติงานยิ่งขึ้น

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งแยกกล่าว รายละเอียดเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์เนื้อหาเนื้อหาวิชา
2. การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
3. การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
4. ความหมายคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
5. การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การวิเคราะห์เนื้อหาวิชา

การวิเคราะห์เนื้อหา คือ การนำเอาเนื้อหาวิชาจากหลักสูตรมาแบ่งออกเป็นเรื่องย่อยๆ หรือหน่วยย่อยตามสมควร การแบ่งเนื้อหานี้พยายามแบ่งให้แต่ละตอนใหญ่ได้เล็กกันอาจจะสลับหัวข้อได้เพื่อให้มีความต่อเนื่องกัน หรือเนื้อหาตอนใดควรต่อเติมก็ทำได้ ข้อสำคัญคือไม่ควรมีการตัดทอนเนื้อหาของหลักสูตรให้น้อยลงไป (เสาวนีย์, 2528 : 105)

การวิเคราะห์เนื้อหาวิชา คือ การคัดเลือกเนื้อหาวิชา เพื่อให้ได้เนื้อหาวิชาที่เหมาะสมและสมบูรณ์ที่สุด เป็นการวิเคราะห์และสังเคราะห์เนื้อหาเพื่อจะนำมาใช้สอนในบทเรียนนั้น ๆ (กฤษมันต์, 2540 17 – 23) ประกอบด้วย

1. ขอบเขตหรือความสมบูรณ์ของเนื้อหาวิชาเป็นการศึกษาสำรวจขอบเขตหรือเนื้อหาวิชาเกี่ยวข้องกันที่มีอยู่ในตำราหลาย ๆ เล่มและตำราที่นำมาใช้เลือกเพื่อศึกษานั้น ควรเป็นตำราที่ใหม่และทันสมัยเพื่อนำมาเปรียบเทียบและคัดเลือกเนื้อหาที่เหมาะสม

2. ความถูกต้องและความทันสมัยของเนื้อหาวิชา คือ การคัดเลือกเนื้อหาวิชาที่มีความเหมาะสมและถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาลักษณะของเนื้อหาที่เป็นอันดับแรก

3. การจัดลำดับของเนื้อหาวิชา คือ เนื้อหาวิชา ความรู้ หรือประสบการณ์ที่ส่งมาจากผู้ส่งไปถึงผู้รับอาจไม่เป็นที่เข้าใจของผู้รับได้ หรือเข้าใจได้อย่างยากลำบาก จึงต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในการเข้าใจเนื้อหาวิชา ดังนี้

- 3.1 เนื้อหาวิชาหรือประสบการณ์ ต้องถูกย่อย หรือแยกเป็นส่วน ๆ ได้ โดยที่ผู้เรียนต้องเข้าใจเนื้อหาแต่ละส่วนนั้น

- 3.2 เนื้อหาวิชาหรือประสบการณ์ที่ย่อยแล้วนั้น ต้องเรียงลำดับอย่างเหมาะสม ซึ่งอาจถือหลักปฏิบัติได้ดังนี้ คือ

- 3.2.1 สอนจากง่ายไปหายาก
- 3.2.2 สอนจากสิ่งที่แลเห็นง่ายเป็นขั้นไปสู่ขั้นประกอบหลาย ๆ ส่วนอย่างยาก
- 3.2.3 สอนจากสิ่งที่พบเห็นทั่ว ๆ ไปไปสู่สิ่งเฉพาะพิเศษ หรือไปหาเหตุผล

- 3.2.4 สอนจากสิ่งที่รู้แล้วไปสู่สิ่งที่ยังไม่รู้
- 3.2.5 สอนจากสิ่งที่อยู่ใกล้ ไปสู่สิ่งที่อยู่ไกล ๆ
- 3.2.6 สอนจากสิ่งที่มีความชัดเจน ไปสู่สิ่งมโนภาพ
- 3.2.7 สอนให้เป็นไปตามธรรมชาติของเด็ก
- 3.2.8 สอนให้ผู้เรียนเรียนรู้โดยผ่านประสาทสัมผัสทั้งห้า

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของผู้วิจัย มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชาหรือเนื้อหาวิชา แบ่งขั้นตอนได้ดังนี้
 - ก) ศึกษาเนื้อหาวิชาหรือเนื้อหาเนื้อหาวิชาหัวข้อเรื่องงานวิจัยของผู้วิจัย ตามหลักสูตรระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่เปิดสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
 - ข) วิเคราะห์วัตถุประสงค์การสอน ในเนื้อหาวิชาตามหัวข้อเรื่องงานวิจัยของผู้วิจัย ด้านความรู้ (Knowledge) ที่จำเป็นแล้วนำมาแบ่งบทเรียนและเขียนวัตถุประสงค์การสอน
 - ค) วิเคราะห์เนื้อหาเพื่อเลือกเนื้อหาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ ด้วยวิธีการ จัดเรียงลำดับเนื้อหาให้ตรงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
 2. การสร้างชุดบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ของผู้วิจัยมีขั้นตอนดังนี้
 - ก) เตรียมเนื้อหาบทเรียน ตามหัวข้อเรื่องของผู้วิจัย
 - ข) นำวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและเนื้อหา ของผู้วิจัยแต่ละท่านมาจัดแบ่งเนื้อหาออกเป็นหัวข้อย่อย ๆ
 - ค) นำเนื้อหาบทเรียนมาทำบทเรื่อง (Scrip) ด้วยลักษณะคำบรรยายด้วยอักษร
 - ง) นัดผู้ถ่ายทำวิดีโอเพื่อจัดทำเป็นชุดบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ถ่ายทำตามบทเรื่อง
 - จ) ผู้ถ่ายทำวิดีโอ ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้จัดจ้างให้ดำเนินการทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของผู้วิจัย นำวิดีโอที่ถ่ายทำแล้วไปดำเนินการสร้างโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
 - ฉ) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อ จำนวน 2 ท่าน ตรวจสอบแล้วปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ
 - ช) นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อการสอน ประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนา

พิจารณาตามเกณฑ์การประเมินตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากผลของค่าเฉลี่ยที่ได้รับตามแนวทางของเบสท์ (Best) ดังนี้ (Best , 1983 : 179 – 187)

ค่าเฉลี่ย	สรุปการประเมิน
4.50 – 5.00	ดีมาก
3.50 – 4.49	ดี
2.50 – 3.49	ใช้ได้

1.50 – 2.49

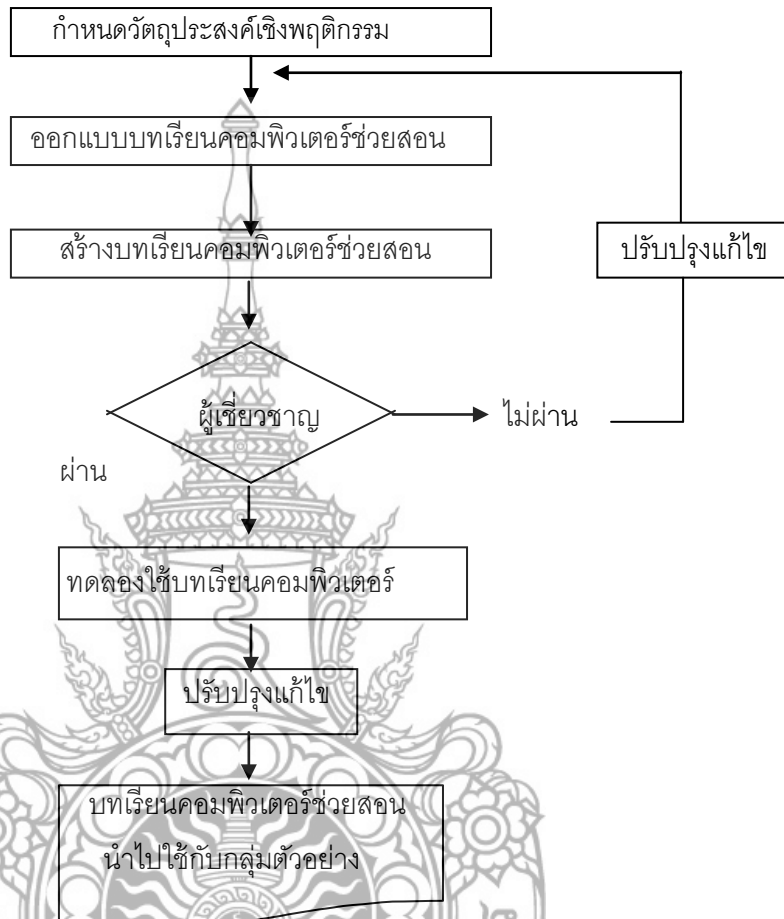
ควรปรับปรุง

1.00 – 1.49

ใช้ไม่ได้

ซ) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่สมบูรณ์แล้วไปใช้เก็บข้อมูลจริงจากกลุ่ม

ทดลอง



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1 วิเคราะห์เนื้อหาตามหัวข้อเรื่องงานวิจัยของผู้วิจัยแต่ละท่าน
- 2 วิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของเนื้อหาทั้งหมด
- 3 ศึกษาตำราและเอกสารเกี่ยวกับการวัดและการประเมินผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการสร้างข้อสอบ และเขียนข้อสอบ

การสร้างข้อสอบ และเขียนข้อสอบ

- 4 สร้างแบบทดสอบที่ครอบคลุมเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
- 5 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจำนวน 1 ท่าน ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้ข้อสอบที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหาและด้านอื่น ๆ ที่มีผลต่อการวิจัย

6. นำแบบทดสอบ ที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลอง (Tryout) กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่เปิดสอน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2548 จำนวนประมาณ 26 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (Level of Difficult) และค่าอำนาจจำแนก (Discrimination Power) โดยถือเกณฑ์พิจารณาดังนี้ ให้ข้อสอบมีค่าความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 และมีค่าอำนาจจำแนก(D) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และการหาคุณภาพของแบบทดสอบทั้งฉบับ กลุ่มผู้วิจัยหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (Reliability) โดยใช้สูตร คูเดอร์ ริชาร์ดสัน (Kuder Richardson Formular 20) (ล้วนและอังคณา ,2538 :198) เมื่อได้ค่าความเชื่อมั่นแล้วนำมาดำเนินการเลือกข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว และนำมาหาค่าความเชื่อมั่นอีกครั้งเมื่อได้ค่าความเชื่อมั่นตามที่ต้องการแล้ว จึงนำข้อสอบชุดนี้ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งข้อสอบออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกใช้เป็นแบบทดสอบก่อนเรียนและชุดที่สองเป็นแบบทดสอบหลังเรียนโดยครอบคลุมเนื้อหาวัตถุประสงค์ทั้งหมดแล้วนำมาแบบทดสอบชุดที่สองมาหาค่าความเชื่อมั่นอีกครั้ง

ความหมายคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง สื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อประสม ได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟฟิก แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว วิดีทัศน์และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียนหรือองค์ความรู้ในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและโครงสร้างของเนื้อหา มีเป้าหมาย คือการได้มาซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดึงดูดความสนใจของผู้เรียน และต้องการกระตุ้นผู้เรียนให้เกิดความต้องอยากเรียนรู้ ช่วยให้ผู้เรียนที่เรียนอ่อนสามารถใช้เวลานอกเวลาเรียนในการฝึกฝนทักษะและเพิ่มเติมความรู้ เพื่อที่จะปรับปรุงการเรียนของตนให้ทันผู้เรียนคนอื่นได้ ดังนั้นผู้สอนจึงสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ช่วยในการสอนเสริม หรือสอนทบทวนการสอนปกติในชั้นเรียนได้ โดยที่ผู้สอนไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการสอนซ้ำกับผู้เรียนที่ตามไม่ทัน หรือจัดการสอนเพิ่มเติม ผู้เรียนสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ในการเรียนด้วยตนเองในเวลา และสถานที่ซึ่งผู้เรียนสะดวกสามารถเรียนในเวลาใดก็ได้ที่ต้องการ สามารถที่จะจูงใจผู้เรียน (Motivated) ที่จะเรียนและสนุกสนานไปกับการเรียนตามแนวคิดของการเรียนรู้ในปัจจุบันที่เรียกว่า “Learning is Fun “ ซึ่งหมายถึง การเรียนรู้เป็นเรื่องสนุก (ถนอมพร,2541:7-12)

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร (เสาวณีย์ , 2528 : 284)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

M_1 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนการเรียน (Pre - test)

M_2 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังการเรียน (Post - test)

P = คะแนนเต็มของข้อทดสอบ

ค่าของอัตราส่วนที่ได้จากสูตรนี้ จะมีค่าระหว่าง 0 – 2 ถ้าค่าที่หาออกมาได้มีค่ามากกว่า 1 ถือว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นได้เกณฑ์มาตรฐาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การศึกษาในปัจจุบันมุ่งส่งเสริมผู้เรียนให้มีความรู้ในเนื้อหาวิชาต่าง ๆ ไม่ว่าจะมาจากอาจารย์ผู้สอนโดยตรงหรือจากการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งการมีสื่อการเรียนการสอนที่น่าสนใจเพื่อจะนำเสนอเนื้อหาต่าง ๆ นั้นจะช่วยดึงดูดความสนใจของผู้เรียน ในการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมและช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหาวิชานั้นดีขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถติดต่อข่าวสารกันได้แทบทุกหนทุกแห่งในโลกมีการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์สื่อสารและสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้แล้วยังมีการประดิษฐ์คิดค้นสื่อการศึกษาใหม่ ๆ ออกสู่ท้องตลาดมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ “คอมพิวเตอร์” และได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการศึกษากันอย่างแพร่หลาย (กรมการศึกษานอกโรงเรียน, 2541 : 2)

คอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ด้านการเรียนการสอน (Computer – Based Instruction) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer - Assisted Instruction: CAI) และคอมพิวเตอร์ช่วยจัดการเรียนการสอน (Computer – Managed Instruction: CMI) ซึ่งจะแบ่งตามลักษณะการนำไปใช้ในกิจกรรมของการเรียนการสอนทั้งหมด (กฤษมันต์, 2536:136)

สำเร็จ (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการฝึกปฏิบัติลับดอกส่ว้นด้วยมือ และเรื่องการฝึกปฏิบัติการกลิ้งงานขึ้นพื้นฐาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาแผนกเทคนิคอุตสาหกรรม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

พิเชฐ (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการฝึกปฏิบัติการทดสอบวัสดุในทางวิศวกรรม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ทินกร (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องฝึกปฏิบัติในงานวิชาโลหะวิทยา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บุญธรรม (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ฝึกปฏิบัติในงานงานไม้ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สิงห์แก้ว (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การฝึกปฏิบัติงานบนเครื่องกลึงอัตโนมัติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คมพันธ์ (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การฝึกปฏิบัติงานบนเครื่องกัดอัตโนมัติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ประเสริฐ (2547) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการถอดประกอบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลการวิจัยปรากฏว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/90 และหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



วิธีการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อหาประสิทธิภาพ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น และวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียน คอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งมีรายละเอียดการวิจัยดังนี้

1. ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้
2. กลุ่มตัวอย่าง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการทดลองที่มีกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มทำการทดสอบก่อนและทดสอบหลังการทดลองทันที (One – Group Pretest – Posttest Design) มีรูปแบบดังตารางที่ 1

สอบก่อนเรียน	การทดลอง	สอบหลังเรียน
T1	X	T2

ตารางที่ 1 แสดงการทดลองที่มีกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่ม ทำการทดลองก่อนและหลังการทดลองทันที

เมื่อ X คือ การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

T₁ คือ คะแนนสอบก่อนเรียน

T₂ คือ คะแนนสอบหลังเรียนทันที

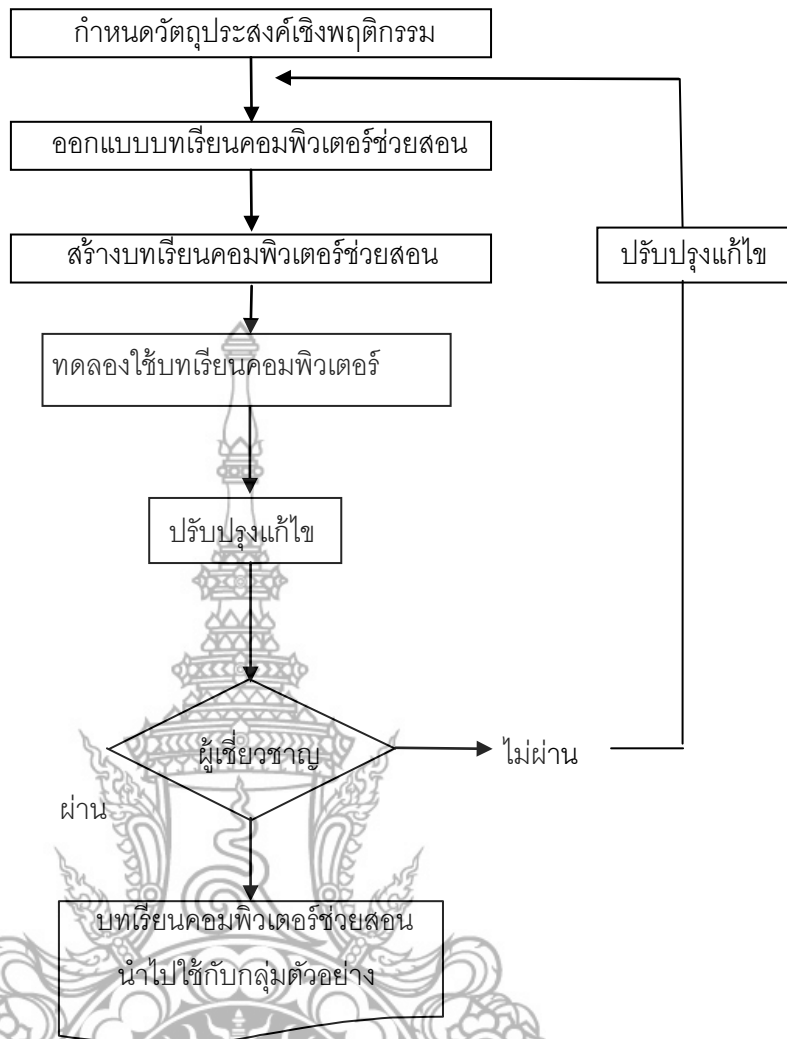
กลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาช่างอุตสาหกรรมที่เปิดสอน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ลงทะเบียนเรียนในวิชาหรือเนื้อหาวิชาตรงกับหัวข้องานวิจัยของผู้วิจัยในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวนนักศึกษาทั้งหมด เพื่อนำมาทดลองและใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนซึ่งมีอาจารย์ผู้สอนและผู้วิจัยควบคุม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
 - 1.1 การวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชาหรือเนื้อหาวิชาตามหัวข้อเรื่องงานวิจัย
 - ก) ศึกษาเนื้อหาวิชาตามหัวข้อเรื่องงานวิจัย ตามหลักสูตรปริญญาตรี สาขาช่างอุตสาหกรรมที่เปิดสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2. การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

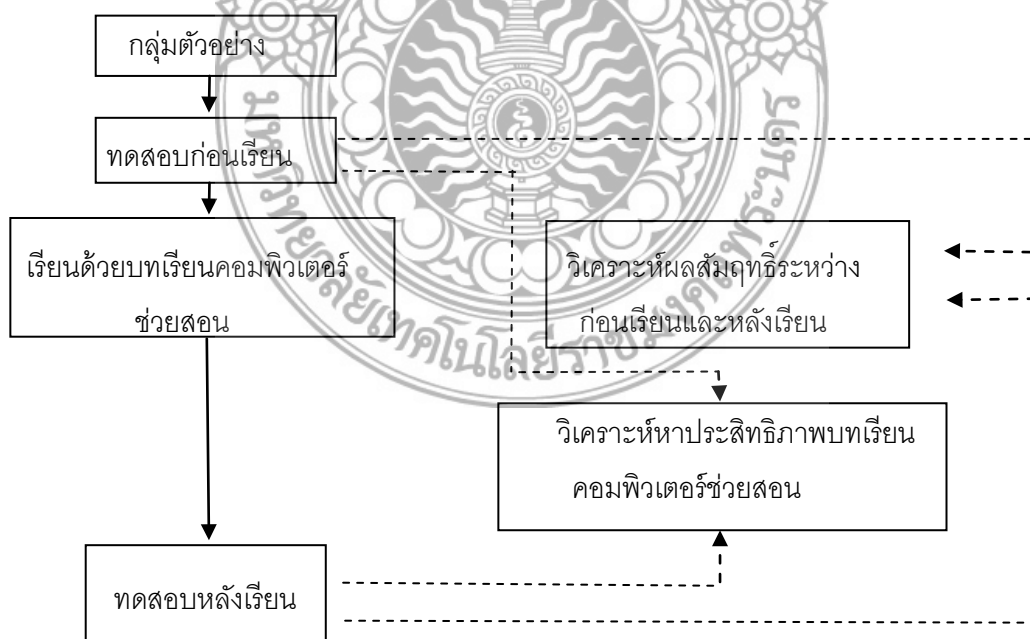
- 2.1 วิเคราะห์เนื้อหาตามหัวข้อเรื่องงานวิจัย
- 2.2 วิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของเนื้อหาทั้งหมด
- 2.3 ศึกษาตำราและเอกสารเกี่ยวกับการวัด และการประเมินผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางการสร้างข้อสอบ และเขียนข้อสอบ
- 2.4 สร้างแบบทดสอบ ที่ครอบคลุมเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
- 2.5 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจำนวน 2 ท่าน ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้ได้ข้อสอบที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหาและด้านอื่น ๆ ที่มีผลต่อการวิจัย
- 2.6 นำแบบทดสอบที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลอง (Tryout) กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาช่างอุตสาหกรรมที่เปิดสอน ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 จำนวนทั้งหมด ซึ่งกำลังเรียนวิชาหรือเนื้อหาตรงกับบทเรียนคอมพิวเตอร์

ช่วยสอนที่สร้างขึ้น เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนก โดยถือเกณฑ์พิจารณา ดังนี้ ให้ข้อสอบมีค่าความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.2–0.8 และมีค่าอำนาจจำแนก (D) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และการหาคุณภาพของแบบทดสอบทั้งฉบับ ผู้วิจัยหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยใช้สูตร คูเดอร์ ริชาร์ดสัน (Kuder Richardson Formular 20) (ลัวินและอังคณา, 2538:198) เมื่อได้ค่าความเชื่อมั่นแล้ว นำมาดำเนินการเลือกข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว และนำมาหาค่าความเชื่อมั่นอีกครั้ง เมื่อได้ค่าความเชื่อมั่นตามที่ต้องการแล้ว จึงนำข้อสอบชุดนี้ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งข้อสอบออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกใช้เป็นแบบทดสอบก่อนเรียนและชุดที่สองเป็นแบบทดสอบหลังเรียน โดยครอบคลุมเนื้อหาวัตถุประสงค์ทั้งหมด แล้วนำแบบทดสอบชุดที่สองมาหาค่าความเชื่อมั่นอีกครั้ง

การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดการทดลอง ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 ดังนี้

1. การเตรียมสถานที่ ใช้ห้องปฏิบัติการสอนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2. แจกแบบทดสอบให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน
3. ทำการสอนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามหัวข้อเรื่องงานวิจัย โดยมีอาจารย์ผู้สอน 1 ท่าน คือ ผู้ที่ทำวิจัยเป็นผู้สอน
4. แจกแบบทดสอบเดิมให้กลุ่มตัวอย่างทำอีกครั้ง
5. นำผลที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และนำผลที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบหลังเรียน ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล โดยการคำนวณหาค่าทางสถิติ ในการวิเคราะห์แบบทดสอบ การคำนวณค่าความยากง่าย (Difficulty Power) ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ซึ่งสถิติในการวิเคราะห์ ข้อมูลดังนี้

1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบทดสอบ

1.1 หาค่าความยากง่าย (Difficulty Power) และค่าอำนาจจำแนก (Discrimination Power) ของแบบทดสอบ

สูตรหาค่าความยากง่ายของข้อสอบ (ล้วนและอังคณา , 2538 : 210 – 211)

$$P = \frac{R}{N}$$

เมื่อ P คือ ค่าความยากง่าย

R คือ จำนวนคนที่ทำข้อนั้นถูก

N คือ จำนวนคนที่ทำข้อนั้นทั้งหมด

โดยพิจารณาเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายในช่วง 0.20 – 0.80

สูตรหาค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (ล้วนและอังคณา , 2538 : 211)

$$D = \frac{R_U - R_L}{N/2}$$

เมื่อ D คือ ค่าอำนาจจำแนก

R_U คือ จำนวนนักเรียนที่ทำข้อนั้นถูกในกลุ่มเก่ง

R_L คือ จำนวนนักเรียนที่ทำข้อนั้นถูกในกลุ่มอ่อน

N คือ จำนวนนักเรียนในกลุ่มเก่งและกลุ่มอ่อน

โดยพิจารณาเลือกข้อสอบที่มีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

1.2 หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบ

สูตรหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยใช้สูตร KR₋₂₀ (Kuder Richardson Formula 20) (ล้วนและอังคณา , 2538 : 198)

$$r_{tt} = \frac{n}{N - 1} \left[1 - \frac{S_{pq}}{S_t^2} \right]$$

เมื่อ r_{tt} คือ ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ

N คือ จำนวนข้อของเครื่องมือวัด

p คือ สัดส่วนของผู้ทำได้ในข้อหนึ่ง ๆ นั่นคือสัดส่วนของคนทำถูก กับคน ทั้งหมด

q คือ สัดส่วนของผู้ที่ทำผิดในข้อหนึ่ง ๆ หรือ คือ $1 - p$
 S_t^2 คือ คะแนนความแปรปรวนของเครื่องมือทั้งฉบับ

1.3 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (ล้วนและอังกฤษ , 2538 : 73)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนของคะแนน
 $\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 N คือ จำนวนผู้เข้าสอบ

2. การวัดความเที่ยงตรงของข้อสอบตามวิธีประสงค์

สูตรการวัดความเที่ยงตรงตามวิธีประสงค์ โดยใช้สูตร Rovinell and Hambeton (กังวล , 2536 : 185 – 186)

$$O.V. = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

เมื่อ O.V. คือ ความเที่ยงตรงตามวิธีประสงค์
 n คือ จำนวนผู้เข้าสอบ
 X คือ ความตรงตามวิธีประสงค์ มีค่าเป็น +1, 0 และ -1
 โดยพิจารณาเลือกข้อสอบที่มีค่าความเที่ยงตรงของวิธีประสงค์ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

3. การทดสอบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและคะแนนหลังเรียน

สูตรหาค่าแตกต่างคะแนนก่อนเรียนและคะแนนหลังเรียน (ล้วนและอังกฤษ , 2538 : 104)

$$t = \frac{SD}{\sqrt{\frac{N SD^2 - (\sum D)^2}{N - 1}}}$$

เมื่อ D คือ ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่
 N คือ จำนวนคู่

4. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร
(เสาวณีย์ , 2528 : 284)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

M_1 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนการเรียน (Pre - test)

M_2 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังการเรียน (Post - test)

P = คะแนนเต็มของข้อทดสอบ

ค่าของอัตราส่วนที่ได้จากสูตรนี้ จะมีค่าระหว่าง 0-2 ถ้าค่าที่หาออกมาได้มีค่ามากกว่า 1 ถือว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นได้เกณฑ์มาตรฐาน



ผลของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชากระบวนการผลิตบทที่ 5-8 สำหรับนักศึกษา ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. การวิเคราะห์หาค่าความคิดเห็นของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจากผู้เชี่ยวชาญ
2. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
3. การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ปรากฏผลดังนี้

1. การวิเคราะห์หาค่าความคิดเห็นของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจากผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญ	จำนวน (คน)	\bar{X}	ระดับความคิดเห็น
ด้านเนื้อหา	2	5.00	ดีมาก
ด้านการผลิตสื่อการสอน	2	5.00	ดีมาก

ตารางที่ 2 แสดงค่าความคิดเห็นของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจากผู้เชี่ยวชาญ

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีค่าความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาอยู่ที่ระดับ 5.00 และค่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านการผลิตสื่ออยู่ที่ระดับ 5.00 สรุปได้ว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ทั้งทางด้านเนื้อหาและทางด้านการผลิตสื่อการสอน

2. การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร (เสาวณีย์ , 2528 : 284)

$$\text{ประสิทธิภาพ } \varphi = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

M_1 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนการเรียน (Pre - test)

M_2 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังการเรียน (Post - test)

P = คะแนนเต็มของข้อทดสอบ

ค่าของอัตราส่วนที่ได้จากสูตรนี้ จะมีค่าระหว่าง 0-2 ถ้าค่าที่หาออกมาได้มีค่ามากกว่า 1 ถือว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นได้เกณฑ์มาตรฐาน

แทนค่า $M_1 = 12.12$

$M_2 = 25.59$

P = 30

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ } \bar{X} &= \frac{25.59 - 12.12}{30 - 12.12} + \frac{25.59 - 12.12}{30} \\ &= 0.753 + 0.449 \\ &= 1.202 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้ = 1.202 ดังนั้นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การอ่านค่าไมโครมิเตอร์ขนาด 0.001 นิ้ว ได้เกณฑ์มาตรฐาน 90 / 90

3. การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์การทดสอบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน (t - test: One - Group Pretest - Posttest - Posttest) ปรากฏผลดังนี้

ผลการคำนวณการทดสอบนี้สำคัญ โดยอาศัยการแจกแจงของที (t - test)

$$S D = 229 , S D^2 = 3287 , N = 17 \text{ คน}$$

$$t = \frac{S D}{\sqrt{\frac{N S D^2 - (S D)^2}{N - 1}}}$$

เมื่อ D คือ ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่

N คือ จำนวน (คน)

แทนค่า

229

$$\begin{aligned}
 t &= \sqrt{\frac{(17 \times 3287) - (229)^2}{17 - 1}} \\
 &= \frac{229}{14.66} \\
 &= 15.62
 \end{aligned}$$

จากตาราง t ซึ่งมี df = 16 ระดับความเชื่อมั่น 0.05 มีค่า 2.120 ซึ่งถือว่าเป็นจุดหลัก แต่ค่า t ที่คำนวณได้ = 15.62 สูงกว่าจุดหลัก แปลว่าผลการทดสอบ 2 ครั้งแตกต่างกัน เชื่อได้ 95 % นั่นคือ การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การอ่านค่าไมโครมิเตอร์ขนาด 0.001 นิ้ว ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นจริงเชื่อได้ 95 %

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีค่าความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาอยู่ที่ระดับ 5.00 และด้านการผลิตสื่อการสอนอยู่ที่ระดับ 5.00 ถือว่าอยู่ในระดับดีมาก
2. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ได้เกณฑ์มาตรฐาน 90 / 90
3. หลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องวิชาการกระบวนการผลิตบทที่ 5-8 สำหรับนักเรียนระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ชั้นปีที่ 1 จำนวน 25 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการวิจัย คือ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง เรื่องวิชาการกระบวนการผลิตบทที่ 5-8 และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการวิจัยนี้ เริ่มต้นจากศึกษาหลักสูตรและข้อมูลต่าง ๆ การวิเคราะห์เนื้อหา การกำหนดวัตถุประสงค์ การสร้างแบบทดสอบ การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยเก็บบันทึกไว้ในแผ่นซีดีรวมจำนวน 2 แผ่น

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น ใช้เกณฑ์การหาค่าประสิทธิภาพ 90/90 การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ของกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเมื่อทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนด้วยแบบทดสอบด้วยผลสัมฤทธิ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และผ่านการวิเคราะห์ข้อสอบแล้ว โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์การทดสอบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน (t-test : One – Group Pretest – Posttest)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น
3. เพื่อวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สมมติฐานการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน 90 / 90
2. หลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น นักศึกษามีความรู้เพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนเรียน

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ปรากฏผลดังนี้

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีค่าความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาอยู่ที่ระดับ 5.00 และด้านการผลิตสื่อการสอนอยู่ที่ระดับ 5.00 ถือว่าอยู่ในระดับดีมาก
2. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ได้เกณฑ์มาตรฐาน 90 / 90

3. หลังจากเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิตบทที่ 5-8 สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปรากฏว่ามีประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้เกณฑ์มาตรฐาน 90/ 90

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนเรียน มีค่าเท่ากับ 12.12 ค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 25.59 ค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียนมีค่าสูงกว่าค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนเรียน ซึ่งผู้วิจัยมั่นใจว่ามาจากสาเหตุดังนี้

1. นักศึกษาที่ผู้วิจัยใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งกำลังเรียนอยู่ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 ซึ่งนักศึกษาที่รับเข้าศึกษาในสาขาวิชาดังกล่าวจะจบทางด้าน ม.6 สายสามัญ การทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยใช้การทดลองแบบไม่บอกให้นักศึกษารู้ล่วงหน้าว่าเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัย แต่บอกกับนักศึกษาว่าเป็นการเรียนการสอนตามปกติ และทำการทดสอบกับนักศึกษาทั้งห้องโดยไม่มีกรยกเว้น

2. จากการสอบถามนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างว่า “เคยเรียนวิชาการกระบวนการผลิต หรือไม่” คำตอบที่ได้รับ 90% ของนักศึกษาไม่เคย ซึ่งเป็นนักศึกษาที่จบระดับม.6 สายสามัญ อีก10% เป็นนักศึกษาที่เรียนจบ ป.ว.ช.สาขาช่างอุตสาหกรรมซึ่งเนื้อหาหลักสูตรวิชาที่เรียน มีเรียนเนื้อหาวิชาการกระบวนการผลิตบางส่วน การทดลองจะทดลองกับกลุ่มตัวอย่างทั้งห้อง แต่การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยจะใช้กลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องกระบวนการผลิต มาวิเคราะห์เท่านั้น

3. ก่อนทดสอบผู้วิจัยจะบอกกับนักศึกษาซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างว่า คะแนนที่ได้จะมีผลในการเรียนที่ผู้วิจัยสอนอยู่ คือ วิชาการกระบวนการผลิต ดังนั้นการทดสอบก่อนเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ค่าเฉลี่ยของคะแนนจึงต่ำเพราะนักศึกษาไม่มีความรู้พื้นฐานในเนื้อหาที่เรียนนั้นมาก่อน และเมื่อผู้วิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ผู้สอนประจำวิชาในเนื้อหาบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ ดังกล่าว ให้นักศึกษาดูบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ เมื่อนักศึกษาดูบทเรียนเสร็จจึงให้ทำแบบทดสอบเดิมอีกครั้งทันที ซึ่งขณะที่นักศึกษาดูบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ สังเกตว่านักศึกษามีความตั้งใจเรียนมาก เพราะทราบว่าจะต้องทำแบบทดสอบเดิมอีกครั้ง ซึ่งในการทำครั้งแรกนักศึกษาอาจจะทำไม่ค่อยได้ดังนั้นผลค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบจึงต่ำ หลังจากดูด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ จึงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนดูบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแล้ว โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังเรียน (t-test : One-Group Pretest-Posttest) จากตาราง t ซึ่งมี df = 16 ระดับความเชื่อมั่น 0.05 มีค่า

2.120 ซึ่งถือว่าเป็นจุดหลัก แต่ค่า t ที่คำนวณได้ = 15.62 สูงกว่าจุดหลัก แปลว่าผลการทดสอบ 2 ครั้งแตกต่างกันเชื่อได้ 95 % นั่นคือ การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการฝึกปฏิบัติการใช้ตะไบปรับผิวชิ้นงาน ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นจริงเชื่อได้ 95 % ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรี (2543) ได้ทำการวิจัย

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเพื่อการเรียนการสอน

จากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญได้ค่าระดับคะแนนเฉลี่ยในการประเมินทางด้านเนื้อหาเท่ากับ 5.00 และค่าระดับคะแนนเฉลี่ยในการประเมินทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อเท่ากับ 5.00 ตามช่วงค่าคะแนนเฉลี่ยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญตามแนวทางของเบสท์ มีค่าอยู่ในระดับดีมากอาจเป็นผลมาจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นเนื้อหาวิธีการสอนที่ผู้วิจัยมีประสบการณ์ และความคุ้นเคยในการสอนมาหลายสิบปี และในการดำเนินการถ่ายทำวิดีโอจะนำวิดีโอที่ถ่ายทำแล้วไปจัดทำเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยไม่ได้ดำเนินการเองแต่จัดจ้างผู้รับจ้างจากภายนอกดำเนินการให้จึงทำให้ค่าประเมินที่ได้อยู่ในระดับดี แต่ถึงอย่างไรก็ตามผู้วิจัยคิดว่ายังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งจะต้องได้รับการพัฒนาและแก้ไขในโอกาสต่อไป เช่น การนำเข้าสู่บทเรียนค่อนข้างน้อยเนื้อหารายละเอียดยังไม่ดีพอ ภาพและเสียงยังไม่ค่อยดีมีเสียงแทรกบางตอน เนื่องจากเวลาในถ่ายทำมีน้อย ดังนั้นถ้าจะนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชากระบวนการผลิตบทที่ 5-8 ไปใช้ในการเรียนและการสอนผู้สอนจะต้องมีทักษะความรู้ในเนื้อหาดังกล่าว สามารถที่จะตอบคำถามเมื่อนักศึกษามีข้อสงสัย

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

ในการดำเนินการวิจัยในลักษณะเดียวกันนี้ ในครั้งต่อไปการถ่ายทำวิดีโอควรให้มีรูปหน้าของผู้วิจัยน้อยที่สุด อาจจะมีบ้างตอนแนะนำเข้าสู่บทเรียนเท่านั้นเพื่อเป็นลิขสิทธิ์ของผู้ทำวิจัย ที่เหลือควรเห็นแต่มือหรือด้านหลังอาจให้นักศึกษาช่วยแสดงแทน แต่เสียงพากย์บรรยายควรเป็นเสียงของผู้วิจัยเองทั้งหมดเพราะจากที่สังเกตอาจารย์ต่างมหาวิทยาลัยที่นำสื่อการสอนไปใช้จะพูดฝากบอกกลับมา หรือที่ผู้วิจัยนำสื่อการสอนของอาจารย์ท่านอื่นมาใช้กับตัวผู้วิจัยเอง จะสังเกตได้ว่าถ้าเรานำสื่อการสอนของผู้อื่นมาใช้โดยเห็นหน้าเจ้าของผลงานของสื่อ นั้นแล้วทำให้ผู้สอนรู้สึกไม่ภาคภูมิใจในการใช้สื่อ นั้น ๆ และนักศึกษาก็อาจรู้สึกไม่เชื่อถือในอาจารย์สอนก็เป็นได้

บรรณานุกรม

กั้ววล เทียนกันท์เทศน์. 2540. การวัด การวิเคราะห์ การประเมินทางการศึกษาเบื้องต้น.

กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

กฤษมันต์ วัฒนานางรงค์. 2536. เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชา

ครุศาสตร์เทคโนโลยี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ.

กรมการศึกษานอกโรงเรียน. กระทรวงศึกษาธิการ. 2541. **วิจัยความต้องการบทเรียน**

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน. กรุงเทพมหานคร : บริษัทศูนย์การพิมพ์แก่นจันทร์ จำกัด.

คมพันธ์ ชมสมุทร . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง
เรื่องการฝึกปฏิบัติงานบนเครื่องกลึงอัตโนมัติ. “ งานวิจัย สาขาวิชาเครื่องจักรอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

ถนอมพร เลหาจรัสแสง. 2541. **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมศึกษา

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทินกร จันทร์กระจ่าง . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง
การฝึกปฏิบัติในงานโลหะวิทยา. “ งานวิจัย สาขาวิชาช่างโลหะ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

บุญธรรม พ่วงลา . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง
การฝึกปฏิบัติในงานไม้. “ งานวิจัย สาขาวิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

ประเสริฐ วิโรจน์ชิววัน . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง
การถอดประกอบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซล. “ งานวิจัย สาขาวิชาเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

พิเชษฐ จิรประเสริฐวงศ์ . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การฝึกปฏิบัติการทดสอบวัสดุในทางวิศวกรรม. “ งานวิจัย สาขาช่างโลหะ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

ล้วน สายยศ. และ อังคณา สายยศ. 2538 **เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ ฯ : สุวีริยาสาส์น.

สิงห์แก้ว ปือกเท็ง . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง เรื่องการฝึกปฏิบัติงานบนเครื่องกัดอัตโนมัติ. “ งานวิจัย สาขาวิชาเครื่องจักรอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

สำเร็จ แพ่งศรี . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การฝึก ปฏิบัติลิบดอกสว่านด้วยมือ. “งานวิจัย สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

สำเร็จ แพ่งศรี . 2547. “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การฝึก ปฏิบัติการกลึงงานขั้นพื้นฐาน. “ งานวิจัย สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร .

เสาวณีย์ สิกขาบัณฑิต. 2528 **เทคโนโลยีทางการศึกษา**. กรุงเทพฯ ฯ : โรงพิมพ์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Best , John W .1983. **Research in Education** . 4th ed. Englewood Cliffs , New Jersey : Practice Hall , Inc

Gagne , R et al. 1988. **Principles of Instruction Design**. New York, NY : The Dryden Press.

ภาคผนวก





บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ

ที่

วันที่ 7 มิถุนายน 2553

เรื่อง

ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสื่อการสอนด้านเทคนิคการผลิตในโครงการวิจัย
ของมหาวิทยาลัย ฯ

เรียน อาจารย์มนต์ชัย นรเศรษฐ์สิงห์

ตามที่โครงการวิจัย “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชา
กระบวนการผลิต บทที่ 5-8 “ ปีงบประมาณ 2553 ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการ ผู้วิจัยได้ปรึกษา
ผู้บริหารแผนกวิจัยและฝึกรอบรมแล้วว่า อาจารย์มนต์ชัย นรเศรษฐ์สิงห์ มีคุณสมบัติเหมาะสม
ในการเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสื่อการสอนด้านเทคนิคการผลิต เพื่อประกอบในการดำเนินโครงการวิจัย
ดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา)

ผู้วิจัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ

ที่

วันที่ 7 มิถุนายน 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสื่อการสอนด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
ในโครงการวิจัยของ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรียน อาจารย์บรรพต ชุนจันทร์

ตามที่โครงการวิจัย “ การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง
วิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 “ ปีงบประมาณ 2553 ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการ ผู้วิจัยได้
ปรึกษาฝ่ายวิจัยและฝึกอบรมพิจารณาแล้วว่า อาจารย์บรรพต ชุนจันทร์ มีคุณสมบัติเหมาะสมใน
การเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสื่อการสอนด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโครงการวิจัย ประกอบใน
การดำเนินโครงการวิจัยดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลลภ ภูผา)

ผู้วิจัย

ขอบข่ายของเนื้อหาวิชา เรื่อง วิชากระบวนการผลิตบทที่ 5-8

ขอบข่ายของเนื้อหาวิชา เรื่อง วิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ได้แบ่งเนื้อหาการเรียนออกเป็นราย
ข้อดังนี้

บทที่ 5 เรื่องการแปรรูปวัสดุ

บทที่ 6 เรื่องการต่อวัสดุ

บทที่ 7 เรื่องการตกแต่งผิวสำเร็จ

บทที่ 8 เรื่องการวัดการทดสอบและการตรวจสอบทางวิศวกรรม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8
2. เพื่อหาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน บทที่ 5 เรื่องการแปรรูปวัสดุ บทที่ 6 เรื่องการต่อวัสดุ บทที่ 7 เรื่องการตกแต่งผิวสำเร็จ บทที่ 8 เรื่องการวัดการทดสอบและการตรวจสอบทางวิศวกรรม



แบบประเมินสื่อการสอนด้านเทคนิคผลิตสื่อ

บทเรียนคอมพิวเตอร์ เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

บทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ท่านกำลังประเมินอยู่นี้ มีคุณภาพอยู่ในระดับใดโปรดทำเครื่องหมาย ลง
ในช่องบอกระดับคุณภาพเพียงช่องเดียวตามความคิดเห็นของท่าน

1. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่าควรมีการปรับปรุง
2. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมพอใช้
3. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมปานกลาง
4. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมดี
5. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมดีมาก

เรื่องที่จะประเมิน	ระดับความคิดเห็น					หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	
1. เนื้อหาและการดำเนินเรื่อง						
1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม						
1.2 ความชัดเจนถูกต้องของเนื้อหา						
1.3 ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ						
2. ภาพ						
2.1 คุณภาพของภาพ						
2.2 ความเหมาะสมของภาพในการสื่อความหมาย						
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับเสียงบรรยาย						
2.4 ความเหมาะสมของเทคนิคสร้างภาพในบทเรียน						
2.5 ความเหมาะสมของงานด้านกราฟฟิก						

เรื่องที่จะประเมิน	ระดับความคิดเห็น					หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	
3. เสียงและภาษา						
3.1 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย						
3.2 ความชัดเจนของเสียงบรรยาย						
3.3 ความถูกต้องของการใช้ภาษา						
4. เวลา						
4.1 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอกับเนื้อหา ในภาพ						
4.2 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอกับเนื้อหา คำบรรยาย						
4.3 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอทั้งเรื่อง						

ความคิดเห็นเรื่องอื่น ๆ

.....

.....

.....

ลงชื่อ ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

แบบประเมินสื่อการสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

บทเรียนคอมพิวเตอร์ เรื่องกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

บทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ท่านกำลังประเมินอยู่นี้ มีคุณภาพอยู่ในระดับใดโปรดทำเครื่องหมาย ลง
ในช่องบอกระดับคุณภาพเพียงช่องเดียวตามความคิดเห็นของท่าน

1. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่าควรมีการปรับปรุง
2. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมพอใช้
3. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมปานกลาง
4. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมดี
5. หมายถึง ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสื่อว่ามีความถูกต้องชัดเจนหรือเหมาะสมดีมาก

เรื่องที่จะประเมิน	ระดับความคิดเห็น					หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	
1. เนื้อหาและการดำเนินเรื่อง						
1.1 เนื้อหาที่มีความสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม						
1.2 ความชัดเจนถูกต้องของเนื้อหา						
1.3 ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีการนำเสนอ						
2. ภาพ						
2.1 คุณภาพของภาพ						
2.2 ความเหมาะสมของภาพในการสื่อความหมาย						
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับเสียงบรรยาย						
2.4 ความเหมาะสมของเทคนิคสร้างภาพในบทเรียน						
2.5 ความเหมาะสมของงานด้านกราฟฟิก						

เรื่องที่จะประเมิน	ระดับความคิดเห็น					หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	
3. เสียงและภาษา						
3.1 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย						
3.2 ความชัดเจนของเสียงบรรยาย						
3.3 ความถูกต้องของการใช้ภาษา						
4. เวลา						
4.1 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอกับเนื้อหา ในภาพ						
4.2 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอกับเนื้อหา คำบรรยาย						
4.3 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอทั้งเรื่อง						

ความคิดเห็นเรื่องอื่น ๆ

.....

.....

.....

ลงชื่อ ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

เกณฑ์การประเมินสื่อการสอน

การประเมินความคิดเห็นจากการตอบแบบสอบถาม จากผู้เชี่ยวชาญด้วยหาค่าเฉลี่ยของข้อคำถามแต่ละข้อ แล้วหาผลรวมของค่าเฉลี่ยของแบบสอบถามทั้งฉบับ แล้วแปลความหมายของผลรวมค่าเฉลี่ยเพื่อหาเกณฑ์ค่าเฉลี่ยของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ยของการตอบแบบสอบถามตามช่วงของค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญตามแนวทางของเบสท์ (Best) ดังนี้ ค่าเฉลี่ยตั้งแต่

- 4.50 – 5.00 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าข้อคำถามนั้นอยู่ในเกณฑ์ดีมาก
- 3.50 – 4.49 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าข้อคำถามนั้นอยู่ในเกณฑ์ดี
- 2.50 – 3.49 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าข้อคำถามนั้นอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้
- 1.50 – 2.49 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าข้อคำถามนั้นอยู่ในเกณฑ์ควรปรับปรุง
- 1.00 – 1.49 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าข้อคำถามนั้นอยู่ในเกณฑ์ใช้ไม่ได้



ผลการประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเนื้อหา

เรื่องที่จะประเมิน	ผู้ประเมินเรียงตามรายชื่อ				— X
	1	2	3	4	
1. เนื้อหาและการดำเนินเรื่อง					
1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม	5	5	-	-	5.0
1.2 ความถูกต้องของเนื้อหา	5	5	-	-	5.0
1.3 ความถูกต้องในการลำดับเนื้อหาตามขั้นตอน	5	5	-	-	5.0
1.4 ความสอดคล้องของเนื้อหาแต่ละตอน	5	5	-	-	5.0
1.5 ความชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา	5	5	-	-	5.0
1.6 ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	5	-	-	5.0
2. รูปภาพและภาษา					
2.1 ความถูกต้องของรูปภาพตามเนื้อหา	5	5	-	-	5.0
2.2 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้	5	5	-	-	5.0
2.3 ความสอดคล้องระหว่างรูปภาพกับคำบรรยาย	5	5	-	-	5.0
3. เวลาในการนำเสนอ					
3.1 ความเหมาะสมของเวลานำเสนอกับเนื้อหาในภาพ ...	5	5	-	-	5.0
3.2 ความเหมาะสมของเวลานำเสนอกับเนื้อหา คำบรรยาย	5	5	-	-	5.0
3.3 ความเหมาะสมของเวลาที่นำเสนอทั้งเรื่อง	5	5	-	-	5.0
— X	5	5	-	-	5.0

ตารางที่ 3 ผลการประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเนื้อหา

ผลการประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

เรื่องที่จะประเมิน	ผู้ประเมินเรียงตาม รายชื่อ				\bar{X}
	1	2	3	4	
1. เนื้อหาและการดำเนินเรื่อง					
1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม	5	5	-	-	5.0
1.2 ความชัดเจนถูกต้องของเนื้อหา	5	5	-	-	5.0
1.3 ความเหมาะสมในรูปแบบและวิธีนำเสนอ	5	5	-	-	5.0
2. ภาพ					
2.1 คุณภาพของภาพ	5	5	-	-	5.0
2.2 ความเหมาะสมของภาพในการสื่อความหมาย	5	5	-	-	5.0
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับเสียงบรรยาย	5	5	-	-	5.0
2.4 ความเหมาะสมของเทคนิคสร้างภาพในบทเรียน	5	5	-	-	5.0
2.5 ความเหมาะสมของงานด้านกราฟฟิก	5	5	-	-	5.0
3. เสียงและภาษา					
3.1 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย	5	5	-	-	5.0
3.2 ความชัดเจนของเสียงบรรยาย	5	5	-	-	5.0
3.3 ความถูกต้องของการใช้ภาษา	5	5	-	-	5.0
4. เวลา					
4.1 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอกับเนื้อหาในภาพ	5	5	-	-	5.0
4.2 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอกับเนื้อหา คำบรรยาย	5	5	-	-	5.0
4.3 ความเหมาะสมของเวลาการนำเสนอทั้งเรื่อง	5	5	-	-	5.0
\bar{X}	5	5	-	-	5.0

ตารางที่ 4 ผลการประเมินสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

แสดงผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบกับวัดคุณประสงค์

ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญประเมิน		ผลค่า O.V.	ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญประเมิน		ผลค่า O.V.
	คนที่ 1	คนที่ 2			คนที่ 1	คนที่ 2	
1	1	1	1	21	1	1	1
2	1	1	1	22	1	1	1
3	1	1	1	23	1	1	1
4	1	1	1	24	1	1	1
5	1	1	1	25	1	1	1
6	1	1	1	26	1	1	1
7	1	1	1	27	1	1	1
8	1	1	1	28	1	1	1
9	1	1	1	29	1	1	1
10	1	1	1	30	1	1	1
11	1	1	1				
12	1	1	1				
13	1	1	1				
14	1	1	1				
15	1	1	1				
16	1	1	1				
17	1	1	1				
18	1	1	1				
19	1	1	1				
20	1	1	1				

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบกับวัดคุณประสงค์

สรุปผล แบบทดสอบเรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

ทุกข้อตรงวัดคุณประสงค์การสอน

แสดงผลการประเมิน หาค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ เรื่องวิชาการกระบวนการผลิตบทที่ 5-8

ระดับ ปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 สาขา วศ.บ 4 ปี ชั้นปีที่ 1 ประจำปีการศึกษา 1/2553

39

ที่	รหัส	ชื่อ - สกุล	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																														รวม 30	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	103	นายธีรพล พรหมแสง	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	13	
2	104	นายอานนท์ ภูถนนวนอก	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	12	
3	106	น.ส.ศดาวลัย์ เขียมพจมาน	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
4	107	นายสุธี คุณากรวิสิทธิ์	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	18
5	108	นายกมลภพ แสงนาค	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	17	
6	112	น.ส.ทัชทิชา พรหมวงศ์	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	7	
7	113	นายพงศ์ชัย ไทยเจียม	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	20	
8	114	นายอธีวัฒน์ รอดสีเสน	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	14	
9	115	นายเกษมา โทธิใหญ่	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	7	
10	116	นายสมศักดิ์ ประทีปทอง	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	
11	117	นายณัฐวุฒิ พรหมแก้ว	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	16	
12	118	นายอภิรมย์ บุญธรรม	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	13
13	119	นายทัญญู สุขสูงเนิน	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	12	
14	120	นายมงคล กลิ่นกุหลาบ	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	12	
15	121	นายอภิชาติ ญาณโชติ	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	10
16	122	นายอำพล โป่งขุนทด	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	12
17	123	นายรัชชัย ทองรอด	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
18	124	นายเรืองศักดิ์ แซ่จิว	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6	
19	127	นายกฤษฏา น้อยสะอาด	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	10	
20	128	นายสันติชัย บัวทอง	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12	
21	129	นายภูมิ วงศ์วัฒนากุล	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	7	
22	130	นายคณุต เจริญสุวรรณ	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	9	

ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินหาค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

23	131	นายคมสันต์ จงกิจตรกุล	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	9
24	132	นายภาณุพันธ์ เดชะกุล	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	12	
25	133	นายธนภัทร นาทะนันท์	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	15	
26	134	นายพัทธนัย ไหมงาม	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	
รวมคะแนนรายชื่อ (R)			6	7	18	12	7	10	6	6	10	10	8	5	7	9	14	12	14	9	6	9	7	6	10	6	6	6	19	11	10	18		
ค่าความยากง่าย (0.2 - 0.8)			0.2	0.3	0.7	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.7	0.4	0.4	0.7		

ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินหาค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8

พิจารณาข้อสอบที่มีค่า ความยากง่าย = 0.2 - 0.8

หมายเหตุ ช่องคะแนน 0 = ทำผิด

ช่องคะแนน 1 = ทำถูก

สูตร ค่าความยากง่าย P = R / N

R = จำนวนคนที่ทำถูก

N = จำนวนคนทั้งหมด = 26 คน

ลำดับที่

- 7
- 9
- 19
- 2
- 3
- 20
- 1
- 6
- 21
- 26
- 4
- 8
- 10
- 11
- 15
- 12
- 24
- 23
- 16
- 13
- 22
- 17



18
14
5
25



แสดงผลค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.4 ปี ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

รายการ	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
รวมคะแนนรายข้อ(RU)	3	3	7	5	5	4	3	5	4	4	5	3	4	4	6	5	5	4	5	5	3	3	4	5	3	5	7	5	5	7
รวมคะแนนรายข้อ(RL)	1	1	5	3	1	2	1	0	2	2	0	1	2	2	3	3	3	2	0	3	1	0	2	0	1	0	5	3	3	5
N / 2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
ค่าอำนาจจำแนก (D)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.3	0.2	0.6	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2

ตารางที่ 10 แสดงผลค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

สูตร ค่าอำนาจจำแนก = $RU - RL$

$N / 2$

พิจารณาข้อสอบที่มี ค่าอำนาจจำแนก ตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

สรุป แบบทดสอบที่ใช้ในการวิจัยทุกข้อ มีค่าตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

แสดงผลการประเมิน หาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ เรื่องวิชากระบวนการผลิตบทที่ 5-8

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.4 ปี ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

เรียงคะแนนจากมากไปน้อย

ที่	รหัส	ชื่อ - สกุล	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																														รวม 30 คะแนน		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
1	113	นายพงศ์ชัย ไทยเจียม	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	20	
2	107	นายสุธี คุณากรภิสิทธิ์	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	18
3	108	นายมงคลพ แสงนาค	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	17		
4	117	นายณัฐวุฒิ พรมแก้ว	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	16	
5	133	นายธนภัทร นาทะนันท์	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	15	
6	114	นายอิทธิวัฒน์ รอดสีเสน	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	14	
7	103	นายธีรพล พรมแสง	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	13	
8	118	นายอภิรมย์ บุญธรรม	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	13	
9	104	นายอานนท์ ภูถนนวนอก	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	12	
10	119	นายวชิรญาณ์ สุขสูงเนิน	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	12	
11	120	นายมงคล กลิ่นกุหลาบ	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	12
12	122	นายอำพล โป่งขุนทด	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	12
13	128	นายสันติชัย บัวทอง	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	12	
14	132	นายภาณุพันธ์ เดชะกุล	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	12
15	121	นายอภิชาติ ญาณโชติ	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	10	
16	127	นายกฤษฏา น้อยสะอาด	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	10	
17	130	นายคณพล เจริญสุวรรณ	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	9	
18	131	นายคมสันต์ จงวิจิตรกุล	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	9
19	106	น.ส.ดศวัลย์ เจียมพจมาน	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
20	112	น.ส.รัชชิษา พรมวงษ์	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	7	
21	115	นายเกษมา โพธิ์ใหญ่	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7	
22	129	นายภูมิ วงศ์วัฒนากุล	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	7	

ตารางที่ 7 แสดงผลการประเมิน หาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ เรื่องวิชากระบวนการผลิตบทที่ 5-8

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.4 ปี ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

เรียงคะแนนจากมากไปน้อย

ที่	รหัส	ชื่อ - สกุล	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																														หมวด 30 หมวดคง
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
23	124	นายเรืองศักดิ์ แซ่จิว	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6	
24	123	นายธวัชชัย ทองรอด	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
25	134	นายพิทธีชัย ไหมงาม	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	
26	116	นายสมศักดิ์ ประทีปทอง	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	

ตารางที่ 7 แสดงผลการประเมิน หาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ เรื่องวิชาการกระบวนการผลิตบทที่ 5-8 (ต่อ)

แสดงหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

เรียงลำดับคะแนน จากมากไปหาน้อย กลุ่มได้คะแนนสูง

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.4 ปี ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

ที่	รหัส	ชื่อ - สกุล	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																														คะแนนรวม		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
1	113	นายพงษ์ชัย ไทยเยี่ยม	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	20	
2	107	นายสุธี คุณากรวิสิทธิ์	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	18	
3	108	นายกมลภพ แสงนาค	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	17	
4	117	นายณัฐภูมิ พรมแก้ว	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	16	
5	133	นายธนกัทร นาทะนันท์	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	15	
6	114	นายอริวัฒน์ รอดสีเสน	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	14	
7	103	นายธีรพล พรมแสง	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	13	
8	118	นายอภิธรรมย์ บุญธรรม	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	13
9	104	นายอานนท์ ภูถนนวนอก	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	12	
รวมคะแนนรายข้อ(RU)			2	4	6	4	5	4	3	5	3	5	5	2	4	5	7	5	4	4	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	8	4	6	7	138

ตารางที่ 8 แสดงหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

เรียงลำดับคะแนน จากมากไปหาน้อย กลุ่มได้คะแนนสูง

แสดงหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

เรียงลำดับคะแนน จากมากไปหาน้อย กลุ่มได้คะแนนต่ำ

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.4 ปี ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

ที่	รหัส	ชื่อ - สกุล	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																														รวม 30
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
18	131	นายคมสันต์ จองจิตจรกุล	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	9
19	106	น.ส.ศดาวลัย เจียมพจมาน	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
20	112	น.ส.พัชธิชา พรหมวงศ์	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	7
21	115	นายเกษมา โทธิใหญ่	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7
22	129	นายภูมิ วงศ์วิมลนากุล	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	7
23	124	นายเรืองศักดิ์ แซ่จิว	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6
24	123	นายธวัชชัย ทองรอด	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5
25	134	นายพัทธนัย ไหมงาม	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
26	116	นายสมศักดิ์ ประทีปทอง	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	
รวมคะแนนรายข้อ(RL)			1	1	5	3	1	2	1	0	2	2	0	1	2	2	3	3	3	2	0	3	1	0	2	0	1	0	5	3	3	5	57

ตารางที่ 9 แสดงหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

เรียงลำดับคะแนน จากมากไปหาน้อย กลุ่มได้คะแนนต่ำ

ตารางที่ 11 แสดงหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.4 ปี ชั้นปีที่ 1 รอบปกติ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

ที่	รหัส	ชื่อ - สกุล	ข้อทดสอบที่ (30 ข้อ)																														รวม 30 คะแนน (X)	X ยกกำลังสอง	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
1	103	นายธีรพล พรหมแสง	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	13	169		
2	104	นายอานนท์ ภูถนนวนอก	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	12	144	
3	106	น.ส.ลดาวัลย์ เจียมพจนาน	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	49		
4	107	นายสุธี คุณากรวิสิทธิ์	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	18	324		
5	108	นายกมลภพ แสงนาค	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	17	289	
6	112	น.ส.พัชรีษา พรหมวงศ์	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	7	49	
7	113	นายพงษ์ศิษฐ์ ไทยเจียม	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	20	400	
8	114	นายอริวัฒน์ รอดสีเสน	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	14	196	
9	115	นายเกษมา โพธิ์ใหญ่	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7	49	
10	116	นายสมศักดิ์ ประทีปทอง	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	4	16		
11	117	นายณัฐวุฒิ พรหมแก้ว	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	16	256	
12	118	นายอภิธรรมย์ บุญธรรม	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	13	169	
13	119	นายวทีปบุญ สุขสูงเนิน	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	12	144	
14	120	นายมงคล กลิ่นกุหลาบ	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	12	144	
15	121	นายอภิชาติ ญาณโชติ	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	10	100	
16	122	นายอำพล โป่งขุนทด	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	12	144

ผลการคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

$$S_{pq} = 6.1 \quad , \quad S_X = 284 \quad , \quad S_X^2 = 3,552$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณค่า } S_t^2 &= \frac{N S_X^2 - (S_X)^2}{N^2} \\ &= \frac{26 \times 3,552 - (284)^2}{26 \times 26} \\ &= 17.30 \end{aligned}$$

$$\text{จาก } r_{tt} = \frac{n}{n-1} \left[1 - \frac{S_{pq}}{S_t^2} \right]$$

- เมื่อ r_{tt} คือ ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ
 N คือ จำนวนข้อของเครื่องมือวัด
 p คือ สัดส่วนของผู้ทำได้ในข้อหนึ่ง ๆ นั่นคือ สัดส่วนของคนทำถูกกับคนทั้งหมด
 q คือ สัดส่วนของผู้ที่ทำได้ในข้อหนึ่ง ๆ หรือ คือ $1-p$
 S_t^2 คือ คะแนนความแปรปรวนของเครื่องมือทั้งฉบับ

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } r_{tt} &= \frac{30}{30-1} \left[1 - \frac{6.1}{17.30} \right] = 0.67 \end{aligned}$$

ดังนั้นแบบทดสอบฉบับนี้ มีความเชื่อมั่น = 0.67

ผลการคำนวณวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร (เสาวณีย์ , 2528 : 295)

$$E_1 = \frac{S X}{N} \times 100 \qquad E_2 = \frac{S F}{N} \times 100$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ

E_2 คือ ประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนคิดเป็นร้อยละ

$S X$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนที่ผู้เรียนทำได้

$S F$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนที่ผู้เรียนทำได้

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียน

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

แต่เนื่องจากขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยไม่ได้ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียน จึงไม่สามารถใช้สูตรดังกล่าวได้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอใช้สูตรใหม่ คือ

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร (เสาวณีย์ , 2528 : 284)

$$\text{ประสิทธิภาพ } \varphi = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

M_1 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนการเรียน (Pre - test)

M_2 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังการเรียน (Post - test)

P = คะแนนเต็มของข้อทดสอบ

ค่าของอัตราส่วนที่ได้จากสูตรนี้ จะมีค่าระหว่าง 0 - 2 ถ้าค่าที่หาออกมาได้มีค่ามากกว่า 1 ถือว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นได้เกณฑ์มาตรฐาน

$$\text{แทนค่า } M_1 = 12.12$$

$$M_2 = 25.59$$

$$P = 30$$

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพ } \times &= \frac{25.59 - 12.12}{30 - 12.12} + \frac{25.59 - 12.12}{30} \\
 &= 0.753 + 0.449 \\
 &= 1.202
 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้ = 1.202 ดังนั้นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ได้
 เกณฑ์มาตรฐาน 90 / 90



ผลการคำนวณวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร (เสาวณีย์ , 2528 : 295)

$$E_1 = \frac{\frac{S X}{N}}{A} \times 100 \qquad E_2 = \frac{\frac{S F}{N}}{B} \times 100$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ

E_2 คือ ประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนคิดเป็นร้อยละ

$S X$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียนที่ผู้เรียนทำได้

$S F$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนที่ผู้เรียนทำได้

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียน

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

แต่เนื่องจากขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยไม่ได้ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ระหว่างเรียน จึงไม่สามารถใช้สูตรดังกล่าวได้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ฯ ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอใช้สูตรใหม่ คือ

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สูตร (เสาวณีย์ , 2528 : 284)

$$\text{ประสิทธิภาพ } \eta = \frac{M_2 - M_1}{P - M_1} + \frac{M_2 - M_1}{P}$$

M_1 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนการเรียน (Pre - test)

M_2 = ผลของคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังการเรียน (Post - test)

P = คะแนนเต็มของข้อทดสอบ

ค่าของอัตราส่วนที่ได้จากสูตรนี้ จะมีค่าระหว่าง 0-2 ถ้าค่าที่หาออกมาได้มีค่ามากกว่า 1 ถือว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นได้เกณฑ์มาตรฐาน

แทนค่า $M_1 = 12.12$

$M_2 = 25.59$

P = 30

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพ } \eta &= \frac{25.59 - 12.12}{30 - 12.12} + \frac{25.59 - 12.12}{30} \\
 &= 0.753 + 0.449 \\
 &= 1.202
 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้ = 1.202 ดังนั้นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ได้
 เกณฑ์มาตรฐาน 90 / 90



แสดงการทดสอบนัยสำคัญโดยอาศัยการแจกแจงของที (t - test)

เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8

ระดับปริญญาตรี วศ.บ.

ประจำปีการศึกษา 1 / 2553

ที่	ชื่อ - สกุล	ผลการทดลอง 30 คะแนน		ผลต่าง (Y - X) = D	(ผลต่าง) D ยกกำลัง 2
		ก่อน (X)	หลัง (Y)		
1	นางสาวนันท์วัน เกิดนอก	8	27	19	361
2	นายณัฐวิชัย สุขสง	12	25	13	169
3	นายพิศาล ทะละวัน	9	22	13	169
4	นางสาววารุณี เงินดี	8	25	17	289
5	นางสาวเกศิณี เนียมกลีพงษ์	15	27	12	144
6	นายวิชาญ เกตุพันธ์	9	27	18	324
7	นายพิชย มาแก้ว	19	23	4	16
8	นางสาวภัคจิรา ลัทธาทพงศ์	14	28	14	196
9	นางสาวสุกัญญา นิมนวล	13	29	16	256
10	นายสมเกียรติ ทันทาน	8	25	17	289
11	นางสาวฐิติมา ธรรมพร	14	26	12	144
12	นายธนากร อัมพวานนท์	16	28	12	144
13	นายอรรถพล ฉิมฉลอง	9	20	11	121
14	นางสาวสุดาวรัตน์ นวมไม้พุ่ม	12	24	12	144
15	นายสุภักกิจ แก้วน้อย	11	27	16	256
16	นายเอกกวี เนตรน้อย	15	26	11	121
17	นายวัชรพงศ์ สุวรรณเลิศ	14	26	12	144
	รวม	206	435	229	3287
	ค่าเฉลี่ย	12.12	25.59		

ตารางที่ 12 การทดสอบนัยสำคัญโดยอาศัยการแจกแจงของที (t - test)

ผลการคำนวณการทดสอบนัยสำคัญ โดยอาศัยการแจกแจงของที (t - test)

$$S D = 229 , S D^2 = 3287 , N = 17 \text{ คน}$$

$$t = \frac{S D}{\sqrt{\frac{N S D^2 - (S D)^2}{N - 1}}}$$

เมื่อ D คือ ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่
N คือ จำนวน (คน)

แทนค่า

$$\begin{aligned} t &= \frac{229}{\sqrt{\frac{(17 \times 3287) - (229)^2}{17 - 1}}} \\ &= \frac{229}{14.66} \\ &= 15.62 \end{aligned}$$

จากตาราง t ซึ่งมี df = 16 ระดับความเชื่อมั่น 0.05 มีค่า 2.120 ซึ่งถือว่าเป็นจุดหลัก แต่ค่า t ที่คำนวณได้ = 15.62 สูงกว่าจุดหลัก แปลว่าผลการทดสอบ 2 ครั้งแตกต่างกัน เชื่อได้ 95 % นั่นคือ การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวิชากระบวนการผลิต บทที่ 5-8 ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นจริงเชื่อได้ 95 %

แบบทดสอบ เรื่องวิชาการกระบวนการผลิต บทที่ 5-8

คำสั่ง ข้อสอบมีทั้งหมด 30 ข้อ

เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด

1. ความหมายของการผลิตในงานอุตสาหกรรม คือข้อใด

- ก. หมายถึง การผลิต เริ่มจากนำวัตถุดิบเข้าไปในกระบวนการผลิต ออกมาเป็นผลผลิตอยู่ในลักษณะของ สินค้าการให้บริการ
- ข. หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนรูป เริ่มจากนำวัตถุดิบเข้าไปในกระบวนการผลิต ออกมาเป็นผลผลิตอยู่ในลักษณะของ สินค้าการให้บริการ
- ค. หมายถึง กระบวนการปรับรูป เริ่มจากนำวัตถุดิบเข้าไปในกระบวนการผลิต ออกมาเป็นผลผลิตอยู่ในลักษณะของ สินค้าการให้บริการ
- ง. หมายถึง การแปรรูป หรือกระบวนการแปรสภาพ เริ่มจากนำวัตถุดิบเข้าไปในกระบวนการผลิต ออกมาเป็นผลผลิตอยู่ในลักษณะของ สินค้าการ

2. สิ่งนำเข้า (input) คือ สิ่งต่าง ๆ ที่นำเข้าเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิต คือ

- ก. คน (Man)
 - ข. วัตถุดิบ (Material)
 - ค. เครื่องจักรและอุปกรณ์
 - ง. คน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักรและอุปกรณ์ เงินลงทุน
3. ความหมายวัตถุดิบ (Material) คือ
- ก. วัตถุดิบที่เป็นผลผลิตหรือการให้บริการได้
 - ข. วัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูป ในกระบวนการผลิต
 - ค. วัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูป ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ออกมาเป็นผลผลิต
 - ง. วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติการตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่สามารถค้นพบวิธีการปรับปรุงให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการให้บริการได้

4. ความหมายเครื่องจักรและอุปกรณ์ คือ

- ก. คือ เครื่องมือที่ถูกนำมาใช้งานในกระบวนการผลิตเพื่อผลิตชิ้นส่วนของอุตสาหกรรม
- ข. คือเครื่องมือที่ถูกนำมาติดตั้งในอุตสาหกรรม โดยนำเอาวัสดุมาแปรรูป ให้ได้ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมาตรฐาน
- ค. คือเครื่องจักรและอุปกรณ์ ที่สำคัญที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการผลิตของงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี ในขณะที่เดียวกันอาจเป็นผลเสียต่อผู้ใช้งาน
- ง. คือเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้งานในกระบวนการผลิตเพื่อผลิตชิ้นส่วนของอุตสาหกรรม โดยนำเอาวัสดุมาแปรรูป ให้ได้ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมาตรฐาน

5. ความหมายเครื่องจักรที่บังคับด้วยมือ (Manually operated machine) คือ
- ก. คือเครื่องจักรที่บังคับด้วยมือ เป็นเครื่องจักรพื้นฐานทั่วไป
 - ข. คือเครื่องจักรที่มี การทำงานจะใช้เครื่องจักร 1 เครื่องกับคนงาน 1 คน และได้ผลผลิต 1 ชิ้น
 - ค. คือเครื่องจักรที่บังคับด้วยมือ ต้องใช้ความรู้ความสามารถของคนที่คุมเครื่องจักรเป็นหลัก ทำให้ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นสูงกว่าแบบอื่น
 - ง. คือเครื่องจักรที่บังคับด้วยมือ เป็นเครื่องจักรพื้นฐานทั่วไป การทำงานจะใช้เครื่องจักร 1 เครื่องกับคนงาน 1 คน และได้ผลผลิต 1 ชิ้น ต้องใช้ความรู้ความสามารถของคนที่คุมเครื่องจักรเป็นหลัก ทำให้ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นสูงกว่าแบบอื่น
6. ความหมายเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic machine) คือ
- ก. คือเครื่องจักรพื้นฐานทั่วไป
 - ข. เป็นเครื่องจักรที่ทำงานโดยเกือบจะไม่ต้องใช้คนทำงานด้วยเลย
 - ค. คือเครื่องจักรที่ต้องอาศัยคนในการวางระบบหรือขั้นตอนการทำงาน เช่น ช่วยในการป้อนวัสดุ
 - ง. คือเครื่องจักรที่ไม่ต้องอาศัยคนในการวางระบบหรือขั้นตอนการทำงาน เช่น ช่วยในการป้อนวัสดุ
7. ความหมายเครื่องจักรระบบอัตโนมัติ คือ
- ก. คือเครื่องจักรที่ทำงานไม่ต้องใช้คนทำงานด้วย
 - ข. คือเครื่องจักรพื้นฐานทั่วไป แต่การทำงานโดยเกือบจะไม่ต้องใช้คนทำงาน
 - ค. คือเครื่องจักรที่ต้องอาศัยคนในการวางระบบหรือขั้นตอนการทำงานเพียงครั้งเดียวในตอนเริ่มต้นการทำงานเท่านั้น จากนั้นเครื่องจักรจะทำงานเองตลอด
 - ง. คือเครื่องจักรที่ทำงานโดยเกือบจะไม่ต้องใช้คนทำงานด้วยเลย คนควบคุมเครื่องจักร เพียง ตั้งเครื่องจักรเพียงครั้งเดียวในตอนเริ่มต้นการทำงานเท่านั้น จากนั้นเครื่องจักรจะทำงานเองตลอด แต่ในบางครั้งอาจต้องป้อนวัสดุบ้างแต่เครื่องจักรก็ทำงานได้เองตลอด
8. กระบวนการผลิตทางด้านเศรษฐศาสตร์คือ
- ก. เป็นกรรมวิธีเพิ่มคุณค่า ให้กับวัสดุ ในกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงทางด้านรูปร่าง คุณสมบัติให้สามารถนำไปใช้งานได้มากขึ้น
 - ข. เป็นกรรมวิธีเพิ่มคุณค่า ให้กับสินค้า ในกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงทางด้านรูปร่าง คุณสมบัติให้สามารถนำไปใช้งานได้มากขึ้น
 - ค. เป็นกรรมวิธีเพิ่มคุณค่า ให้กับองค์ประกอบในกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงทางด้านรูปร่าง คุณสมบัติให้สามารถนำไปใช้งานได้มากขึ้น
 - ง. เป็นกรรมวิธีเพิ่มคุณค่า ให้กับผลกำไรที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงทางด้านรูปร่าง คุณสมบัติให้สามารถนำไปใช้งานได้มากขึ้น
9. การอัดขึ้นรูป คือ
- ก. การอัดขึ้นรูป ส่วนใหญ่จะเป็นการขึ้นรูปจากวัสดุโลหะแผ่นบาง โดยนำวัสดุที่ต้องใส่ลงในแม่พิมพ์และให้ความร้อนแล้วใช้แรงอัดกดให้ขึ้นรูปตามแม่พิมพ์

ข. การอัดขึ้นรูป ส่วนใหญ่จะเป็นการขึ้นรูปจากวัสดุแบบผงหรือที่เรียกว่า การขึ้นรูปวัสดุผง เป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยนำผงวัสดุที่ต้องใส่ลงในแม่พิมพ์และให้ความร้อนแล้วใช้แรงอัดกดให้ขึ้นรูปตามแม่พิมพ์

ค. การอัดขึ้นรูป ส่วนใหญ่จะเป็นการขึ้นรูปจากวัสดุโลหะแผ่นบาง โดยนำวัสดุที่ต้องใส่ลงในแม่พิมพ์และให้ความร้อนแล้วใช้แรงอัดกดให้ขึ้นรูปตามแม่พิมพ์

ง. การอัดขึ้นรูป ส่วนใหญ่จะเป็นการขึ้นรูปจากวัสดุพลาสติก โดยนำวัสดุที่ต้องใส่ลงในแม่พิมพ์และให้ความร้อนแล้วใช้แรงอัดกดให้ขึ้นรูปตามแม่พิมพ์

10. โลหะหนัก หมายถึง

ก. โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 4 กก/ดม³

ข. โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 5 กก/ดม³

ค. โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 6 กก/ดม³

ง. โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 7 กก/ดม³

11. โลหะเบา หมายถึง

ก. โลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 1 กก/ดม³

ข. โลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 2 กก/ดม³

ค. โลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 3 กก/ดม³

ง. โลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 4 กก/ดม

12. ข้อใดอธิบาย “การผลิตทองแดง” ได้ถูกต้อง

ก. ทองแดงส่วนใหญ่จะถูกสกัดจากแร่ที่ประกอบด้วยคอปเปอร์และเหล็กโครเมียม

ข. ทองแดงส่วนใหญ่จะถูกสกัดจากแร่ที่ประกอบด้วยคอปเปอร์และเหล็กซิลไฟด์

ค. ทองแดงส่วนใหญ่จะถูกสกัดจากแร่ที่ประกอบด้วยคอปเปอร์และเหล็กกล้าไร้สนิม

ง. ทองแดงส่วนใหญ่จะถูกสกัดจากแร่ที่ประกอบด้วยคอปเปอร์และเหล็กไททาเนียม

13. ข้อใดอธิบาย “เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steels)” ได้ถูกต้อง

ก. เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steels) มีสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเลิศในทุกสภาวะ มีปริมาณโครเมียมผสม อยู่จำนวนมาก มีปริมาณโครเมียมอยู่อย่างน้อย 3%

ข. เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steels) มีสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเลิศในทุกสภาวะ มีปริมาณโครเมียมผสม อยู่จำนวนมาก มีปริมาณโครเมียมอยู่อย่างน้อย 6 %

ค. เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steels) มีสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเลิศในทุกสภาวะ มีปริมาณโครเมียมผสม อยู่จำนวนมาก มีปริมาณโครเมียมอยู่อย่างน้อย 12%

ง. เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steels) มีสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเลิศในทุกสภาวะ มีปริมาณโครเมียมผสม อยู่จำนวนมาก มีปริมาณโครเมียมอยู่อย่างน้อย 15%

14. ข้อใดอธิบาย “เหล็กหล่อสีขาว (white cast irons)” ได้ถูกต้อง

ก. โลหะผสมเหล็ก-คาร์บอน-ซิลิคอน เหล็กหล่อสีขาวประกอบด้วยเหล็กเหนียวจำนวนมาก จึงทำให้เหล็กหล่อสีขาวมีความแข็งและเหนียว

ข. โลหะผสมเหล็ก-คาร์บอน-ซิลิคอน เหล็กหล่อสีขาวประกอบด้วยอลูมิเนียมจำนวนมาก จึงทำให้เหล็กหล่อสีขาวมีความแข็งและเหนียว

ค. โลหะผสมเหล็ก-คาร์บอน-ซิลิคอน เหล็กหล่อสีขาวประกอบด้วยทองแดงจำนวนมาก จึงทำให้เหล็กหล่อสีขาวมีความแข็งและนำความร้อนได้ดี

ง. โลหะผสมเหล็ก-คาร์บอน-ซิลิคอนที่ เหล็กหล่อสีขาวประกอบด้วยเหล็กคาร์ไบด์จำนวนมาก จึงทำให้เหล็กหล่อสีขาวมีความแข็งและเปราะ

15. ข้อใดอธิบาย “เตาถลุงแบบ Basic Oxygen (BOF)” ได้ถูกต้อง

ก. ใช้วัตถุดิบที่เป็นโลหะแท่ง 60-80 % จากเตาส่งเหมือนกับวิธีผลิตเหล็กกล้าอื่น ๆ แต่มีที่แตกต่างออกไปคือ ต้องใช้เศษเหล็กและปูนขาวใส่ลงไปด้วย ความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายเนื้อโลหะและวัตถุดิบได้จากการใช้ออกซิเจนเข้าช่วย

ข. ส่วนมากจะใช้หลอมละลายเศษเหล็กมากกว่าโลหะแท่ง แม้ว่าบางครั้งจะใช้กับเหล็กหลอมเหลวก็ตาม ถ้ามีการควบคุมส่วนผสมที่ใส่ในเตาอย่างใกล้ชิด และเพิ่มวัสดุบางอย่างลงไปในเตาไฟฟ้าก็สามารถที่จะถลุงเหล็กโลหะแท่งต่าง ๆ และเหล็กสแตนเลสชนิดหล่อ เหล็กทนความร้อน เหล็กเครื่องมือ และเหล็กผสมอื่น ๆ ได้

ค. เตาแบบ นี้จะมีผนังเตาที่ระบุดังข้างหรือกรด ชนิดบดด้วยกรด ผนังด้านข้างจะเป็น silica brick เตาแบบนี้ใช้เฉพาะการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำ และจะต้องใช้เศษเหล็กที่มีฟอสฟอรัส และกำมะถันน้อย เตาแบบบดด้วยด่างนั้นจะมี hearth ทำด้วย magnesite และผนังด้านข้างเป็น magnesite และ alumina brick เตาชนิดนี้จะใช้ผลิตเหล็กกล้าบางเกรดเท่านั้น หรือผลิตเหล็กผสมต่าง ๆ เตาแบบต่างจะมีข้อที่ดีตรงที่สามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส ลดปริมาณกำมะถัน และควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สามารถนำน้ำเหล็กออกมาหาส่วนผสมทางเคมีได้ ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กเพื่อหล่อเป็นแท่ง Ingot และสามารถปรับแต่งส่วนผสมได้ตามต้องการ

ง. เตาแบบนี้เป็น อีกประเภทหนึ่งที่เคยนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตเหล็กกล้า แต่ในปัจจุบันนี้จะใช้เวลาเพียง 40 ล้านตัน ต่อปี ซึ่งจะจุโลหะได้ 11- 600 ตัน ภายในแ่งเตา ซึ่งจะได้รับความร้อนโดยปฏิกิริยาของแก๊สหรือเปลวไฟที่เกิดน้ำมันพุ่งผ่านไปยังเนื้อโลหะภายในบ่อหลอมละลาย

16. ข้อใดอธิบาย “เตาถลุงแบบไฟฟ้า” ได้ถูกต้อง

ก. ใช้วัตถุดิบที่เป็นโลหะแท่ง 60-80 % จากเตาส่งเหมือนกับวิธีผลิตเหล็กกล้าอื่น ๆ แต่มีที่แตกต่างออกไปคือ ต้องใช้เศษเหล็กและปูนขาวใส่ลงไปด้วย ความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายเนื้อโลหะและวัตถุดิบได้จากการใช้ออกซิเจนเข้าช่วย

ข. ส่วนมากจะใช้หลอมละลายเศษเหล็กมากกว่าโลหะแท่ง แม้ว่าบางครั้งจะใช้กับเหล็กหลอมเหลวก็ตาม ถ้ามีการควบคุมส่วนผสมที่ใส่ในเตาอย่างใกล้ชิด และเพิ่มวัสดุบางอย่างลงไปในเตาไฟฟ้าก็สามารถที่จะถลุงเหล็กโลหะแท่งต่าง ๆ และเหล็กสแตนเลสชนิดหล่อ เหล็กทนความร้อน เหล็กเครื่องมือ และเหล็กผสมอื่น ๆ ได้

ค. เตาแบบ นี้จะมีผนังเตาที่ระบุด้วยต่างหรือกรด ชนิดบุด้วยกรด ผนังด้านข้างจะเป็น silica brick เตาแบบนี้ใช้เฉพาะการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำ และจะต้องใช้เศษเหล็กที่มีฟอสฟอรัส และกำมะถันน้อย เตาแบบบุด้วยต่างนั้นจะมี hearth ทำด้วย magnesite และผนังด้านข้างเป็น magnesite และ alumina brick เตาชนิดนี้จะใช้ผลิตเหล็กกล้าบางเกรดเท่านั้น หรือผลิตเหล็กผสมต่าง ๆ เตาแบบบุด้วยต่างจะมีข้อที่ดีตรงที่สามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส ลดปริมาณกำมะถัน และควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สามารถนำน้ำเหล็กออกมาหาส่วนผสมทางเคมีได้ ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กเพื่อหล่อเป็นแท่ง Ingot และสามารถปรับแต่งส่วนผสมได้ตามต้องการ

ง. เตาแบบนี้เป็น อีกประเภทหนึ่งที่เคยนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตเหล็กกล้า แต่ในปัจจุบันนี้จะใช้เวลาเพียง 40 ล้านตัน ต่อปี ซึ่งจะจุโลหะได้ 11- 600 ตัน ภายในแอ่งเตา ซึ่งจะได้รับความร้อนโดยปฏิกิริยาของแก๊สหรือเปลวไฟที่เกิดน้ำมันพุ่งผ่านไปยังเนื้อโลหะภายในบ่อหลอมละลาย

17. ข้อใดอธิบาย “เตาแบบ direct arc” ได้ถูกต้อง

ก. ใช้วัตถุดิบที่เป็นโลหะแท่ง 60-80 % จากเตาสูงเหมือนกับวิธีผลิตเหล็กกล้าอื่น ๆ แต่มีที่แตกต่างออกไปคือ ต้องใช้เศษเหล็กและปูนขาวใส่ลงไปด้วย ความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายเนื้อโลหะและวัตถุดิบได้จากการใช้ออกซิเจนเข้าช่วย

ข. ส่วนมากจะใช้หลอมละลายเศษเหล็กมากกว่าโลหะแท่ง แม้ว่าบางครั้งจะใช้กับเหล็กหลอมเหลวก็ตาม ถ้ามีการควบคุมส่วนผสมที่ใส่ในเตาอย่างใกล้ชิด และเพิ่มวัสดุบางอย่างลงไปในเตาไฟฟ้าก็สามารถที่จะถลุงเหล็กโลหะแท่งต่าง ๆ และเหล็กสแตนเลสชนิดหล่อ เหล็กทนความร้อน เหล็กเครื่องมือ และเหล็กผสมอื่น ๆ ได้

ค. เตาแบบ นี้จะมีผนังเตาที่ระบุด้วยต่างหรือกรด ชนิดบุด้วยกรด ผนังด้านข้างจะเป็น silica brick เตาแบบนี้ใช้เฉพาะการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำ และจะต้องใช้เศษเหล็กที่มีฟอสฟอรัส และกำมะถันน้อย เตาแบบบุด้วยต่างนั้นจะมี hearth ทำด้วย magnesite และผนังด้านข้างเป็น magnesite และ alumina brick เตาชนิดนี้จะใช้ผลิตเหล็กกล้าบางเกรดเท่านั้น หรือผลิตเหล็กผสมต่าง ๆ เตาแบบบุด้วยต่างจะมีข้อที่ดีตรงที่สามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส ลดปริมาณกำมะถัน และควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สามารถนำน้ำเหล็กออกมาหาส่วนผสมทางเคมีได้ ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กเพื่อหล่อเป็นแท่ง Ingot และสามารถปรับแต่งส่วนผสมได้ตามต้องการ

ง. เตาแบบนี้เป็น อีกประเภทหนึ่งที่เคยนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตเหล็กกล้า แต่ในปัจจุบันนี้จะใช้เวลาเพียง 40 ล้านตัน ต่อปี ซึ่งจะจุโลหะได้ 11- 600 ตัน ภายในแอ่งเตา ซึ่งจะได้รับความร้อนโดยปฏิกิริยาของแก๊สหรือเปลวไฟที่เกิดน้ำมันพุ่งผ่านไปยังเนื้อโลหะภายในบ่อหลอมละลาย

18. ข้อใดอธิบาย “เตาแบบ Open-hearth furnace” ได้ถูกต้อง

ก. ใช้วัตถุดิบที่เป็นโลหะแท่ง 60-80 % จากเตาสูงเหมือนกับวิธีผลิตเหล็กกล้าอื่น ๆ แต่มีที่แตกต่างออกไปคือ ต้องใช้เศษเหล็กและปูนขาวใส่ลงไปด้วย ความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายเนื้อโลหะและวัตถุดิบได้จากการใช้ออกซิเจนเข้าช่วย

ข. ส่วนมากจะใช้หลอมละลายเศษเหล็กมากกว่าโลหะแท่ง แม้ว่าบางครั้งจะใช้กับเหล็กหลอมเหลวก็ตาม ถ้ามีการควบคุมส่วนผสมที่ใส่ในเตาอย่างใกล้ชิด และเพิ่มวัสดุบางอย่างลงไปในเตาไฟฟ้าก็สามารถที่จะถลุงเหล็กโลหะแท่งต่าง ๆ และเหล็กสแตนเลสชนิดหล่อ เหล็กทนความร้อน เหล็กเครื่องมือ และเหล็กผสมอื่น ๆ ได้

ค. เตาแบบ นี้จะมีผนังเตาที่ระบุด้วยต่างหรือกรด ชนิดบดด้วยกรด ผนังด้านข้างจะเป็น silica brick เตาแบบนี้ใช้เฉพาะการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำ และจะต้องใช้เศษเหล็กที่มีฟอสฟอรัส และกำมะถันน้อย เตาแบบบดด้วยต่างนั้นจะมี hearth ทำด้วย magnesite และผนังด้านข้างเป็น magnesite และ alumina brick เตาชนิดนี้จะใช้ผลิตเหล็กกล้าบางเกรดเท่านั้น หรือผลิตเหล็กผสมต่าง ๆ เตาแบบบดต่างจะมีข้อที่ตรงที่สามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส ลดปริมาณกำมะถัน และควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สามารถนำน้ำเหล็กออกมาหาส่วนผสมทางเคมีได้ ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กเพื่อหล่อเป็นแท่ง Ingot และสามารถปรับแต่งส่วนผสมได้ตามต้องการ

ง. เตาแบบนี้เป็น อีกประเภทหนึ่งที่เคยนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตเหล็กกล้า แต่ในปัจจุบันนี้จะใช้เวลาเพียง 40 ล้านตัน ต่อปี ซึ่งจะจุโลหะได้ 11- 600 ตัน ภายในแอ่งเตา ซึ่งจะได้รับความร้อนโดยปฏิกิริยาของแก๊สหรือเปลวไฟที่เกิดน้ำมันพุ่งผ่านไปยังเนื้อโลหะภายในบ่อหลอมละลาย

19. ข้อใดอธิบาย “เตาหล่อแบบคิวโพล่า” ได้ถูกต้อง

ก. ใช้วัตถุดิบที่เป็นโลหะแท่ง 60-80 % จากเตาสูงเหมือนกับวิธีผลิตเหล็กกล้าอื่น ๆ แต่มีที่แตกต่างออกไปคือต้องใช้เศษเหล็กและปูนขาวใส่ลงไปด้วยความร้อนที่ใช้ในการหลอมละลายเนื้อโลหะและวัตถุดิบได้จากการใช้ออกซิเจนเข้าช่วย

ข. ส่วนมากจะใช้หลอมละลายเศษเหล็กมากกว่าโลหะแท่ง แม้ว่าบางครั้งจะใช้กับเหล็กหลอมเหลวก็ตาม ถ้ามีการควบคุมส่วนผสมที่ใส่ในเตาอย่างใกล้ชิด และเพิ่มวัสดุบางอย่างลงไปในเตาไฟฟ้าก็สามารถที่จะถลุงเหล็กโลหะแท่งต่าง ๆ และเหล็กสแตนเลสชนิดหล่อ เหล็กทนความร้อน เหล็กเครื่องมือ และเหล็กผสมอื่น ๆ ได้

ค. เตาแบบ นี้จะมีผนังเตาที่ระบุด้วยต่างหรือกรด ชนิดบดด้วยกรด ผนังด้านข้างจะเป็น silica brick เตาแบบนี้ใช้เฉพาะการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำ และจะต้องใช้เศษเหล็กที่มีฟอสฟอรัส และกำมะถันน้อย เตาแบบบดด้วยต่างนั้นจะมี hearth ทำด้วย magnesite และผนังด้านข้างเป็น magnesite และ alumina brick เตาชนิดนี้จะใช้ผลิตเหล็กกล้าบางเกรดเท่านั้น หรือผลิตเหล็กผสมต่าง ๆ เตาแบบบดต่างจะมีข้อที่ตรงที่สามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส ลดปริมาณกำมะถัน และควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สามารถนำน้ำเหล็กออกมาหาส่วนผสมทางเคมีได้ ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กเพื่อหล่อเป็นแท่ง Ingot และสามารถปรับแต่งส่วนผสมได้ตามต้องการ

ง. การหล่อเหล็กทำได้โดยการนำเศษเหล็กมาหลอมใหม่ เตาแบบนี้มีโครงสร้างเบาๆ เสียค่าใช้จ่ายในการทำงานน้อยและสามารถหลอมเหล็กได้ติดต่อกันนาน ๆ โดยเสียค่าซ่อมบำรุงต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการใช้เตา แบบนี้จะทำให้ธาตุบางอย่างในเหล็กหายไปบางอย่างเพิ่มขึ้นเพราะน้ำเหล็กสัมผัสกับเชื้อเพลิง

ทำให้มีผลต่อการควบคุมดูแลคุณสมบัติของเหล็กที่ได้เป็นอย่างมากทำให้ยากในการควบคุมเหล็กพิเศษที่ต้องการหล่ออย่างประณีต นอกจากนี้ยังควบคุมอุณหภูมิให้ละเอียดได้ยาก

20. ข้อดีอธิบาย “เตาหลอมแบบ Induction” ได้ถูกต้อง

ก. เตาหลอมแบบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า จะใช้การเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าไปหลอมโลหะเป็นเตาที่ไม่มีแกน การใช้พลังงานความร้อนที่ได้ เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ถูกป้อนเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำ ขดลวดนี้จะหุ้มรอบ ๆ เบบ้าหลอมโลหะความถี่สูงที่ใช้ประมาณ 1000 ไซเคิลต่อวินาที ใช้ป้อนสู่ขดลวดด้วยชุดมอเตอร์เอนเนเรเตอร์ หรือระบบความถี่แบบเมอร์คูรี-อาร์ค ภายในเบ้าหลอมจะบรรจุด้วยโลหะแข็งเป็นชั้น ๆ เศษโลหะ หรือเศษโลหะที่เกิดจากการนำไปเข้าเครื่องจักรจะเกิดการเหนี่ยวนำกระแสอย่างสูง ที่ขดลวดทุติยภูมิ ของที่บรรจุภายในเบ้าหลอมจะได้รับความร้อนในช่วงระยะเวลา 50-90 นาที ก็จะหลอมละลาย ถ้าเป็นเบ้าขนาดใหญ่ที่สามารถบรรจุเหล็กได้มากที่สุดไม่เกิน 4 ตัน

ข. ส่วนมากจะใช้หลอมละลายเศษเหล็กมากกว่าโลหะแท่ง แม้ว่าบางครั้งจะใช้กับเหล็กหลอมเหลวก็ตาม ถ้ามีการควบคุมส่วนผสมที่ใส่ในเตาอย่างใกล้ชิด และเพิ่มวัสดุบางอย่างลงไปในเตาไฟฟ้าก็สามารถที่จะถลุงเหล็กโลหะแท่งต่าง ๆ และเหล็กสแตนเลสชนิดหล่อ เหล็กทนความร้อน เหล็กเครื่องมือ และเหล็กผสมอื่น ๆ ได้

ค. เตาแบบ นี้จะมีผนังเตาที่ระบุด้วยต่างหรือกรด ชนิดบุด้วยกรด ผนังด้านข้างจะเป็น silica brick เตาแบบนี้ใช้เฉพาะการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำ และจะต้องใช้เศษเหล็กที่มีฟอสฟอรัส และกำมะถันน้อย เตาแบบบุด้วยต่างนั้นจะมี hearth ทำด้วย magnesite และผนังด้านข้างเป็น magnesite และ alumina brick เตาชนิดนี้จะใช้ผลิตเหล็กกล้าบางเกรดเท่านั้น หรือผลิตเหล็กผสมต่าง ๆ เตาแบบบุด้วยต่างจะมีข้อที่ดีตรงที่สามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัส ลดปริมาณกำมะถัน และควบคุมอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สามารถนำน้ำเหล็กออกมาหาส่วนผสมทางเคมีได้ ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กเพื่อหล่อเป็นแท่ง Ingot และสามารถปรับแต่งส่วนผสมได้ตามต้องการ

ง. การหล่อเหล็กทำได้โดยการนำเศษเหล็กมาหลอมใหม่ เตาแบบนี้มีโครงสร้างเบาๆ เสียค่าใช้จ่ายในการทำงานน้อยและสามารถหลอมเหล็กได้ติดต่อกันนาน ๆ โดยเสียค่าซ่อมบำรุงต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการใช้เตา แบบนี้จะทำให้ธาตุบางอย่างในเหล็กหายไปบางอย่างเพิ่มขึ้นเพราะน้ำเหล็กสัมผัสกับเชื้อเพลิง ทำให้มีผลต่อการควบคุมดูแลคุณสมบัติของเหล็กที่ได้เป็นอย่างมากทำให้ยากในการควบคุมเหล็กพิเศษที่ต้องการหล่ออย่างประณีต นอกจากนี้ยังควบคุมอุณหภูมิให้ละเอียดได้ยาก

เฉลยแบบทดสอบ

เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด

- | | | |
|--------|--------|--------|
| 1. ง. | 2. ง. | 3. ค. |
| 4. ง. | 5. ง. | 6. ค. |
| 7. ง. | 8. ก. | 9. ข. |
| 10. ก. | 11. ง. | 12. ข. |
| 13. ค. | 14. ง. | 15. ก. |
| 16. ข. | 17. ค. | 18. ง. |
| 19. ง. | 20. ก. | |



ลักษณะรายวิชา

04-312-101 กระบวนการผลิต
3(3-0-6)

Manufacturing Processes

รายวิชาที่ต้องเรียนมาก่อน : -

รายวิชาที่ต้องเรียนควบคู่ : -

ศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตขั้นพื้นฐาน เช่น การผลิตโลหะจำพวกเหล็ก งานหล่อโลหะ การแปรรูปวัสดุ การตัดขึ้นรูปวัสดุ การต่อประกอบ การตกแต่งผิวสำเร็จ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เครื่องมือวัดทดสอบและตรวจสอบวัสดุทางวิศวกรรม ตลอดจนการใช้เครื่องจักรในการผลิตระบบอัตโนมัติ



เนื้อหาบทเรียน บทที่ 5 การแปรรูปวัสดุ

กรรมวิธีการแปรรูปวัสดุ (Machining Process) เป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิต ลองมาดูผลิตภัณฑ์หรือสินค้าต่าง ๆ รอบตัวเรา จะสังเกตเห็นได้ว่าจะต้องมีชิ้นส่วนที่ผ่านกรรมวิธีการแปรรูปไม่ทางตรงก็ทางอ้อมยกตัวอย่างเช่น เลื่อยสุบรยยนต์หลังจากที่ผ่านกรรมวิธีการหล่อมาแล้ว จะต้องมีการตัดปาดผิว เพื่อให้ได้ความเรียบก่อนที่จะนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่น หรือตัวอย่างอื่น เช่น ของเด็กเล่นที่เป็นชิ้นส่วนพลาสติกซึ่งผ่านกรรมวิธีการฉีดพลาสติกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ แล้วนำมาประกอบกัน ก็จะต้องใช้แม่พิมพ์พลาสติก (Mold Plastic) ซึ่งแม่พิมพ์พลาสติกนี้ก็ต้องผ่านการแปรรูปมาก่อน เช่น การกัด การกลึง หรือการเจียรไน เพื่อให้ได้รูปร่างเป็นชิ้นงานที่ต้องการ จึงจะเห็นได้ว่า การแปรรูปวัสดุเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

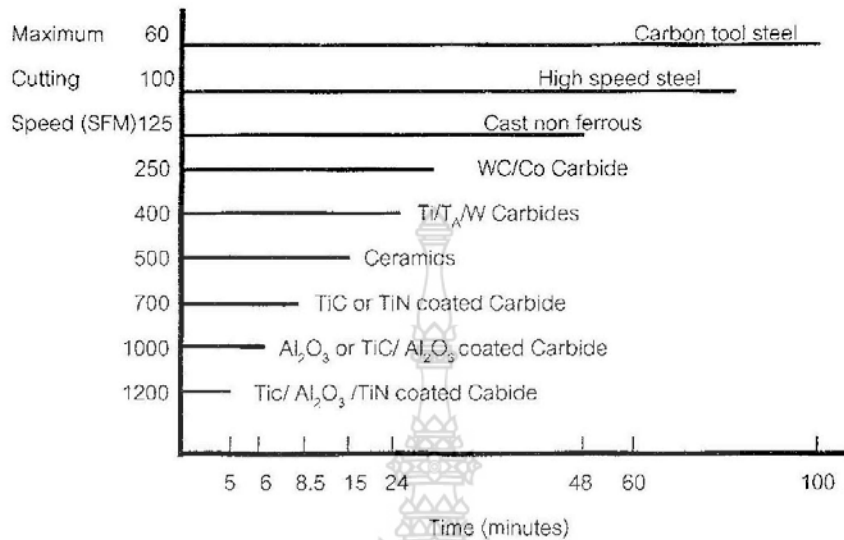
วัสดุที่นำมาใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting Tool and Materials)

วัสดุที่จะนำมาทำเป็นเครื่องตัดเช่น มีดกลึง มีดกัด ซึ่งจะต้องใช้ทำการตัดเฉือนโลหะ จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่มีความแข็งทนต่อแรงกด แรงดึงอ เพราะในขณะที่เกิดการตัดเฉือนจะมีแรงต้านจากเนื้อโลหะ จะต้องมีความคงทนต่อความร้อนและทนต่อการสึกหรอสูง. เนื่องจากในขณะที่ทำการตัดเฉือนโลหะ เช่น มีดกลึง จะเกิดการเสียดสีกันระหว่างมีดกลึงกับเนื้อโลหะทำให้เกิดมีความร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งถ้าวัสดุที่นำมาทำเครื่องตัดไม่มีความสามารถในการต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้วัสดุที่นำมาทำเครื่องตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากที่แข็งและใช้ในการตัดเฉือนได้ อาจกลายเป็นวัสดุที่อ่อนได้ จึงเห็นได้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานตัดเฉือนโลหะ นอกจากนี้ในการทำเครื่องมือตัดเฉือนแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ผลต่อการตัดเฉือนโลหะอีก เช่น อัตราป้อน ความเร็วรอบ และรูปทรงของเครื่องมือตัด

เทคโนโลยีทางด้านวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้ได้วัสดุชิ้นใหม่ออกมา ซึ่งวัสดุที่ได้ออกมาใหม่ก็มีความยากในการตัดเฉือนมากขึ้นอันเนื่องมาจากความแข็งมากขึ้น ทำให้ต้องมีการคิดค้นพัฒนาวัสดุเครื่องมือตัดต่างๆตามมาด้วย ซึ่งก็จะช่วยในการตัดเฉือนเป็นไปด้วยความรวดเร็ว สามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ ทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มมากขึ้นด้วย ความสามารถของเครื่องมือตัดชนิดใหม่สามารถดูได้ที่แผนภูมิที่ 5.1 ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือตัดชนิดเก่าและเครื่องมือตัดที่คิดค้นขึ้นมาได้ใหม่ เป็นการเปรียบเทียบในด้านเวลา และความเร็วในการตัด(Cutting Speed) ซึ่งความเร็วในการตัดคือคิดระยะทางที่เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ตัดเนื้อของชิ้นงานเทียบกับระยะเวลาจะมีหน่วยคือ [m/min] ยกตัวอย่างเช่น งานกลึงค่าความเร็วตัดจะหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_c &= \pi Dn / 100 \quad [m/min] \\ \text{เมื่อ } V_c &= \text{ความเร็วตัด หน่วยที่ได้จะเป็น } [m/min] \\ D &= \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน } [mm] \\ N &= \text{จำนวนรอบของหัวจับ } [1/min] \end{aligned}$$

หมายเหตุ ที่ต้องการด้วย1000เนื่องมาจากต้องการเปลี่ยนหน่วยจาก [mm/min]เป็น[m/min] ซึ่งจะทำให้ดูง่ายขึ้น



แผนภูมิ การเปรียบเทียบเครื่องมือตัดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาและความเร็วตัด

ชนิดของวัสดุเม็ดตัด

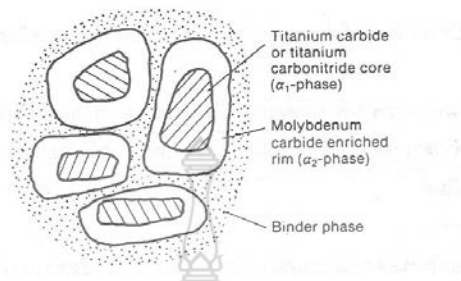
โดยทั่วไปในงานตัดเฉือน ความเร็วในการตัดเฉือน (Cutting Speed) และอัตราการป้อน (Feed Rate) จะใช้ไม่ได้ตามความต้องการ เนื่องจากจะถูกจำกัดโดยความสามารถของเครื่องมือตัด ซึ่งหมายถึงเราไม่สามารถจะบังคับให้มีเม็ดตัดเดินตัดวัสดุได้ตามความเร็วที่ต้องการอันเนื่องมาจากความสามารถของวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัด เช่น ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงเกินไปจะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงตามไปด้วย เมื่อความสามารถของวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือตัดไม่สามารถที่จะคงสภาพความแข็งแรงได้ที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้เครื่องมือตัดนั้นเกิดการสึกหรอหรือเสียหาย ดังนั้นความเร็วในการตัด อัตราการป้อน อัตราการกินลึก จะต้องเป็นไปด้วยความเหมาะสมเพื่อที่จะทำให้เม็ดตัดนั้นสามารถผลิตชิ้นงานได้ตามจำนวนที่ต้องการและมีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า การผลิตชิ้นงานต้องผลิตจำนวนมากขึ้น และยังคงแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นเวลาจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

การเคลือบผิวเครื่องมือตัด

ความต้องการที่จะทำให้ทั้งสแตนคาร์ไบด์มีความแข็งแรงขึ้น เหนียวขึ้น และต้านทานการสึกหรอได้ดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนากรรมวิธีการเคลือบผิว (Coating) ทั้งสแตนคาร์ไบด์ โดยได้เริ่มมีการพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ.1960 ซึ่งตัวเครื่องมือตัดจะทำได้เป็นทั้งสแตน-โคบอลต์ (WC-Co) และสารเคลือบคือ ไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) การเคลือบจะเคลือบเป็นชั้นบางๆซึ่งจะช่วยให้สามารถทำการตัดปาดผิวที่ความเร็วสูงได้ การต้านทานการสึกหรอดีขึ้น กรรมวิธีในการเคลือบมีสองแบบคือ CVD (Chemical-Vapor Deposition) และ (Physical-Vapor Deposition)

เซอร์เมท (Cermets) เซอร์เมทเป็นวัสดุเครื่องมือตัดที่ทำการผลิตมาจากกรรมวิธีโลหะผงหรือซินเตอร์ริง มีส่วนประกอบที่สำคัญคือเซรามิกส์ และธาตุผสมอื่นๆ เซรามิกส์ที่ผสมลงไปจะเป็นตัวช่วยในการต้านทานความร้อน และการสึกกร่อน ในขณะที่ส่วนผสมของโลหะอื่นเป็นตัวช่วยในด้านความเหนียว การ

ยืดหยุ่น การต้านทานแรงกระแทก เซรามิกส์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความสามารถในการต้านทานความร้อนสูง อุตสาหกรรมการผลิตได้แยกเครื่องมือตัดเซอรัมออกเป็นสองชนิดคือ ชนิดที่มีไททาเนียมคาร์ไบด์เป็นโลหะฐาน ในขณะที่ชนิดที่มีทังสเตนคาร์ไบด์เป็นโลหะ เราเรียกว่า ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbide) ลักษณะส่วนประกอบของเซอรัมได้จาก รูป



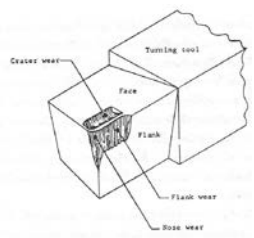
รูปลักษณะส่วนประกอบของเซอรัม

เซรามิก (Ceramics) เซรามิกจัดเป็นวัสดุเครื่องมือตัดชนิดใหม่ที่น่าสนใจ ความสามารถของเซรามิกสามารถที่จะใช้งานได้หลากหลายเช่นงานตัดปาดผิวที่ละเอียด งานตัดปาดผิวที่ใช้วัสดุอื่นตัดได้ยาก การพัฒนานำเซรามิกมาใช้ได้เริ่มตั้งแต่ปี 1970 ซึ่งทำขึ้นมาเพื่อเป็นชิ้นส่วนของงานที่ต้องใช้ในอุณหภูมิสูง เนื่องจากเซรามิกเป็นอโลหะ จึงมีความสามารถในการทนอุณหภูมิสูงอยู่แล้ว

วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษ วัสดุเครื่องมือตัดแข็งพิเศษมี 2 ชนิด คือ เพชร (Diamond) และ CNB (Cubic Boron Nitride) วัสดุทั้งสองชนิดนี้ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งจะใช้สำหรับเป็นเครื่องมือตัด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเพชร และ CNB มีลักษณะคล้ายคลึงกันหลายอย่าง ทั้งสองชนิดเป็นวัสดุที่แข็งมากที่สุดเท่าที่รู้จักมา มีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้เหมือนกัน การเปรียบเทียบความแข็งแรงของเพชรและ CNB

การสึกหรอและอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

เครื่องมือตัดขณะที่ใช้งานจะเกิดความเค้น การเสียดสี และความร้อนสูง เป็นผลทำให้เครื่องมือตัดมีอายุการใช้งานสั้นลง ซึ่งจะปรากฏออกมาในรูปการสึกหรอ จึงส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดที่ผิดไปจากความต้องการและมีผิวหยาบ อัตราการสึกหรอส่วนมากมีสาเหตุมาจาก การเลือกใช้เครื่องมือตัดที่ไม่เหมาะสมกับวัสดุงานรวมทั้งรูปร่างของวัสดุด้วย การหล่อเย็นที่ไม่ถูกชนิดหรือการหล่อเย็นไม่ตรงจุดและไม่มีการล้างน้ำหล่อเย็นฉีดแรงเพียงพอ ที่สำคัญคือการเลือกใช้ค่าตัวแปรต่างๆ เช่นความเร็วรอบ ความเร็วตัด และอัตราการป้อนไม่ถูกต้อง การสึกหรอของเครื่องมือตัดมีอยู่สองชนิดคือการสึกหรอด้านที่สัมผัสงาน (Flank wear) และการเกิดรอยแตกบิ่น (Crater wear)



รูป แสดงการสึกหรอของเครื่องมือตัด

กระบวนการแปรรูปแบบคายนพิเศษ

กระบวนการแปรรูปคายนพิเศษ จะใช้เครื่องมือตัด และเครื่องจักรต่างๆ ในการแปรรูปในลักษณะงาน เช่น การกลึง การคว้าน การเจาะ การทำเกลียว การกัด การไส การแทงขึ้นรูป การเลื่อย และการขัดสี

การกลึง (Turning)

เป็นการแปรรูปชิ้นงานในลักษณะทรงกระบอก ชิ้นงานหมุนกลม เครื่องมือตัดมีคมตัดเดียว มีทิศทางการป้อนขนานกับแกนของการหมุนและการกินลึกในทิศทางตัดขวาง กล่าวคือ ถ้าเป็นการกลึงผิวข้างใน เรียกว่า การกลึงนอก และถ้าเป็นการกลึงใน การกลึงชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอกยาวเรียกว่า การกลึงปอก ถ้าการกลึงหน้าตัดให้เป็นผิวเรียบเรียกว่า การกลึงปาดหน้า และเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปเรียกว่า เครื่องกลึง (Lathe)

ความเร็วตัด (Cutting Speed ; V_c) ความเร็วตัดเป็นความเร็วที่คมตัดมีดกลึงตัดเฉือนวัสดุได้เมื่อชิ้นงานกลึงหมุนไปครบจำนวน 1 รอบ คมตัดมีดกลึงตัดเฉือนเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวง ของชิ้นงาน ($1 \text{ รอบ} = \pi D$) และมีหน่วยที่ใช้เป็น เมตรต่อนาที (m/min) หรือฟุตต่อนาที (ft/min) การหาความเร็วตัดในงานกลึง สามารถหาได้จากตารางมาตรฐาน ดูได้จากตารางที่ 6.8 หรือจากการคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

สูตรในระบบเมตริก

$$V_c = (n D \pi) / 1000 \quad \text{m/min}$$

(เมตร/นาที)

V_c = ความเร็วตัด, เมตร/นาที D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของงาน, มม. n = ความเร็วรอบของเพลากลึง, รอบ/นาที

อัตราป้อนกลึง (Feedrate ; F) เป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อนาที หรือต่อรอบ การเลือกใช้อัตราป้อนงานกลึงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงาน ชนิดของมีดกลึง ความโตเส้นผ่าศูนย์กลางงาน และความหยาบความละเอียดของผิวงาน อัตราป้อนกลึงคำนวณได้จากสูตร

สูตรในระบบเมตริก

$$F = n F_{rev} \quad \text{mm/min}$$

สูตรในระบบนิ้ว

$$F = n F_{rev} \quad \text{Inch/min}$$

F = อัตราป้อนกลึง (มม./นาที)

F = อัตราป้อนกลึง (นิ้ว/นาที)

n = ความเร็วรอบของเพลากลึง (รอบ/นาที)

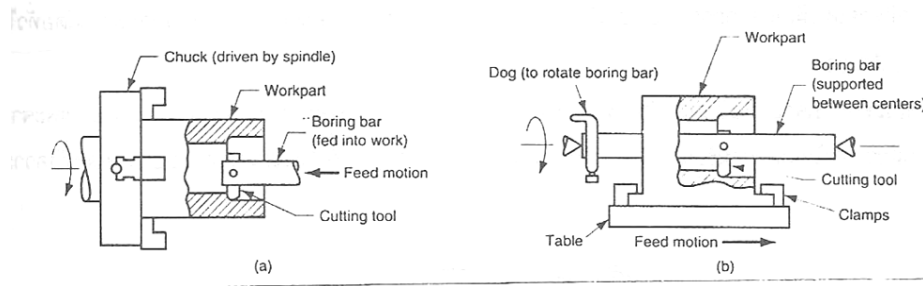
n = ความเร็วรอบของเพลากลึง (รอบ/นาที)

F_{rev} = อัตราป้อนต่อรอบ (มม./รอบ)

F_{rev} = อัตราป้อนต่อรอบ (นิ้ว/รอบ)

การคว้าน (Boring)

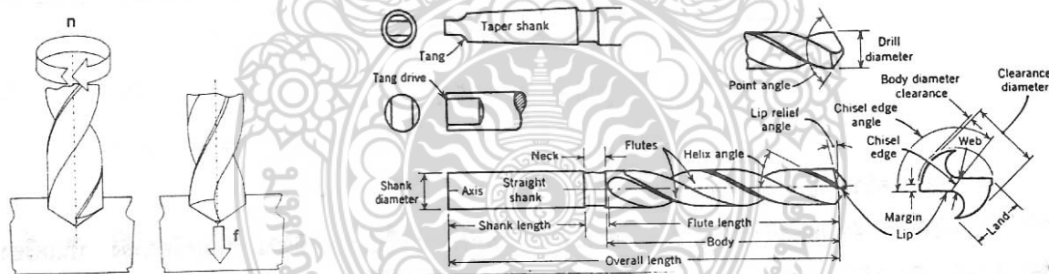
หลักการทำงานเหมือนกับการกลึง แต่ต่างกันที่การคว้านส่วนมากเป็นการแปรรูปชิ้นงานในทรงกระบอก การคว้านมี 2 แบบ คือ ชิ้นงานหมุนอยู่กับที่มีดคว้านเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน และแบบที่สอง ชิ้นงานถูกยึดติดอยู่กับที่ และมีดคว้านถูกยึดติดอยู่กับเพลากลึงโดยหมุนเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน



รูป การคว้าน

การเจาะ (Drilling)

การเจาะเป็นการทำรูบนชิ้นงานด้วยดอกสว่าน (Drill) โดยมีลักษณะการทำงานดังนี้ ทิศทางของดอกสว่านจะหมุนในทิศทางที่คมตัดเข้าหาชิ้นงาน หรือรูเจาะ โดยการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นเส้นตรง และดอกสว่านที่ใช้งานโดยทั่วไป เป็นลักษณะ ดอกสว่านร่องเกลียว ที่ลำตัวมีร่องเกลียว (Rake Face) 2 ร่อง และบิดเป็นมุมกับแกน 30° ร่องดังกล่าวมีหน้าที่คายเศษที่เกิดจากการเจาะ และมีความยาวตลอดลำตัว มุมจิก (Point Angle) ของดอกสว่านโดยทั่วไปเท่ากับ 118° ในขณะที่ทำการเจาะ จะเกิดแรงเสียดทานขึ้นระหว่างผิวด้านนอกของดอกสว่าน กับผิวของรูเจาะ และจากเศษเจาะกับร่องเกลียว จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นกับดอกสว่าน และชิ้นงานการเจาะจึงต้องใช้น้ำยาหล่อเย็นช่วยลดทั้งความร้อนและความฝืด



รูป ลักษณะโดยรวมของดอกสว่าน

สูตรในระบบเมตริก

$$V = (\pi d n)/1000 \text{ m/min}$$

d = ความโตของดอกสว่าน (มม)
n = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

สูตรในระบบนิ้ว

$$V = (\pi d n)/12 \text{ ft/min}$$

d = ความโตของดอกสว่าน (นิ้ว)
n = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

การคำนวณหาความเร็วรอบ

ในการปฏิบัติงานเจาะนั้น เราอาจจะไม่ต้องคำนวณหาความเร็วตัด เพราะความเร็วตัดนั้นได้กำหนดไว้ตามชนิดของวัสดุงานแล้ว สิ่งที่จะต้องคำนวณหา ก็คือความเร็วรอบที่จะไปปรับที่เครื่องเจาะ ดังนั้นการคำนวณส่วนใหญ่ก็จะคำนวณหาความเร็วรอบเท่านั้น

สูตรในระบบเมตริก

$$n = (V 1000) / (\pi d) \text{ rpm.}$$

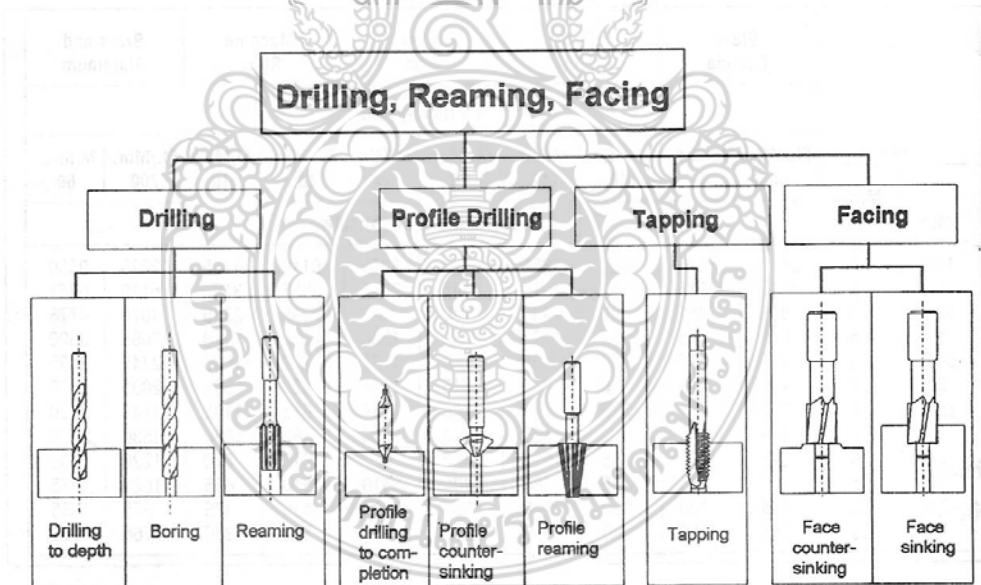
สูตรในระบบนิ้ว

$$n = (V 12) / (\pi d) \text{ rpm}$$

อัตราป้อน (Feed)

อัตราป้อน หมายถึง อัตราการเคลื่อนที่ของดอกสว่านเข้าตัดเฉือนชิ้นงานต่อการหมุนของดอก สว่านครบ 1 รอบคิดเป็นหนึ่งนิ้วมิลลิเมตร อัตราป้อนเจาะนี้มีความสำคัญยิ่ง และมีผลต่ออายุการใช้งานของดอกสว่านด้วย การป้อนเจาะด้วยอัตราป้อนที่หยาบมาก จะทำให้คมตัดดอกสว่านบิ่นได้ง่าย และถ้าหากการป้อนเจาะด้วยอัตราป้อนที่ละเอียดเกินไป การเจาะจะมีเสียงดัง และคมดอกสว่านจะทื่อได้ การเลือกอัตราป้อนจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับขนาดความโตของดอกสว่านด้วย

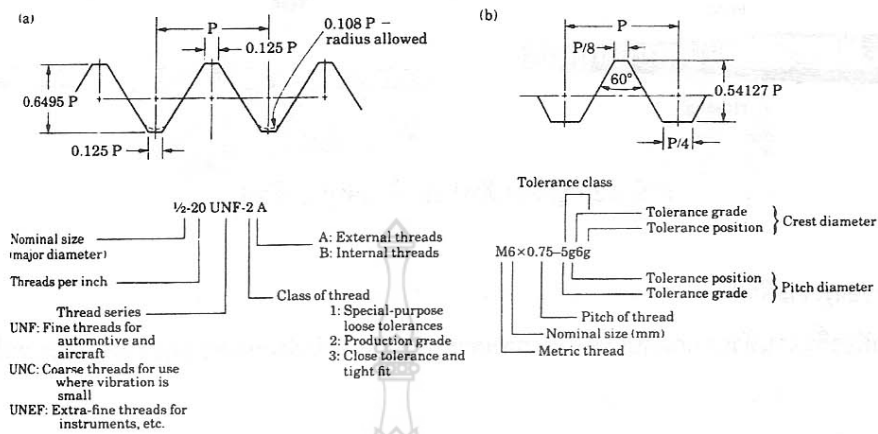
เครื่องเจาะ นอกจากจะเจาะรูแล้ว ยังสามารถแปรรูปลักษณะงานอื่นๆ ได้อีก เช่น การขยายปากรูเพื่อฝังหัวสกรู การเจาะนำศูนย์ และการคว้านรูเรียบ เป็นต้น



รูป แสดงการแปรรูปชิ้นงาน ในลักษณะงานต่างๆ ด้วยเครื่องเจาะ

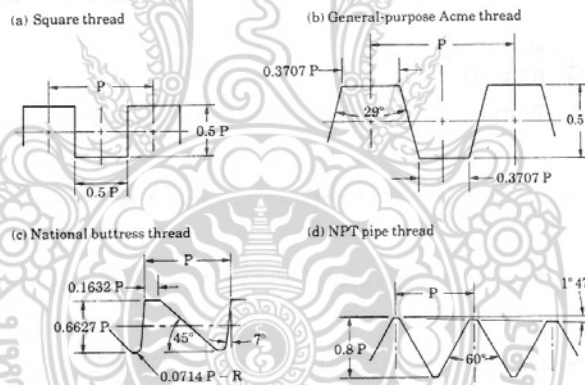
เกลียวและการทำเกลียว (Thread and Threading)

เกลียวที่ใช้ในงานวิศวกรรมมี 2 ระบบ คือ ระบบนิ้วหรือระบบอเมริกัน



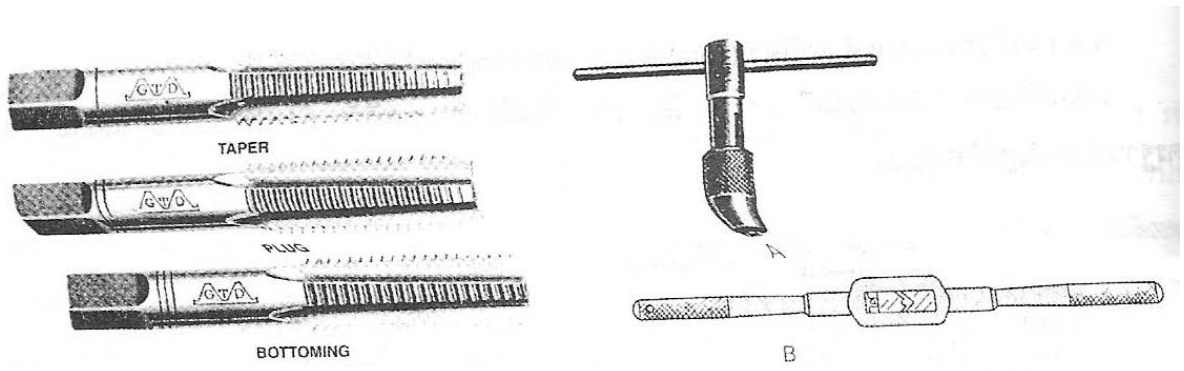
รูป เกลียวระบบนิ้ว และระบบเมตริก

นอกจากนี้ยังมีเกลียวชนิดอื่นๆ อีก ซึ่งสามารถใช้งานได้เช่นกัน
 เกลียวสี่เหลี่ยม เกลียวเอคเม่ เกลียวบัตเทรอด และเกลียวท้อ



รูป เกลียวชนิดต่างๆ

เกลียวถูกผลิตขึ้นด้วยเครื่องมือหลายชนิด ตีป (Tap) และดาบ (Die) ก็เป็นเครื่องมือที่ใช้
 ทำเกลียวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ตีป เป็นเครื่องมือที่ใช้ทำเกลียวใน ที่ลำตัวจะมีฟันเกลียวอยู่โดยรอบ
 และมีร่องสำหรับดาบเศษ 3 หรือ 4 ร่อง ร่องจะมีทั้งแบบตรง และแบบบิดเป็นเกลียว ซึ่งใช้กับการตีปด้วย
 เครื่อง ตีป 1 ชุดจะมี 3 ดอก มีขนาดเท่ากันแต่ต่างกันที่ความเร็ว คือ ดอกที่ 1 จะเร็วประมาณ 6 เกลียว
 เรียกว่า Taper Tap ดอกที่ 2 จะเร็วประมาณ 3 เกลียว เรียกว่า Plug Tap และดอกที่ 3 ไม่มีความเร็ว
 เรียกว่า Bottoming Tap ในการทำงานจะใช้ดอกตีปจากดอกที่ 1 ดอกที่ 2 และดอกที่ 3 เรียงตามลำดับ โดย
 จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์จับดอกตีป ดังรูป



รูปชุดดอกตีป และด้ามจับดอกตีป

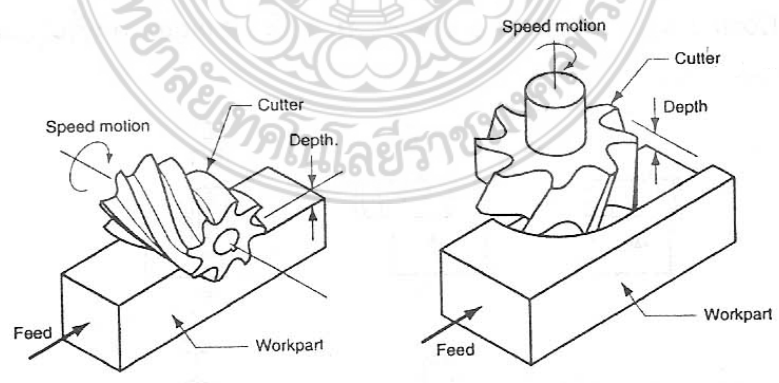
ส่วน ดาย (Die) เป็นเครื่องมือสำหรับทำเกลียวนอกมี 2 ชนิด คือ ชนิดปรับไม่ได้ และชนิดปรับได้ ระบบที่ใช้มีสองระบบเหมือนกับตีป โดยจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์จับตาย ดังรูป



รูป ดาย และด้ามจับตาย

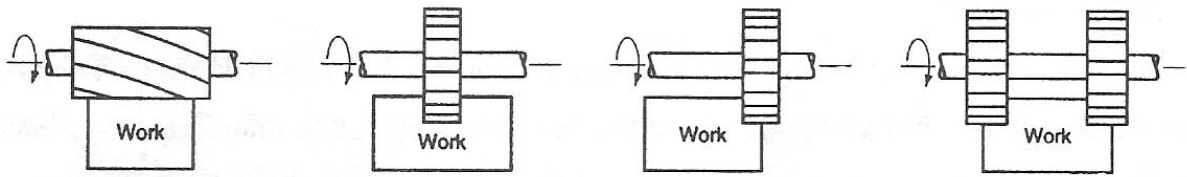
การกัด (Milling)

การกัดมี 2 ลักษณะ คือ การกัดในแนวอน (Peripheral Milling) ใช้ด้านข้างของตัวกัด (Cutter) กัดงานและการกัดงานในแนวตั้ง (Face Milling) ใช้ด้านหน้าของตัวกัด กัดงาน ดังรูป



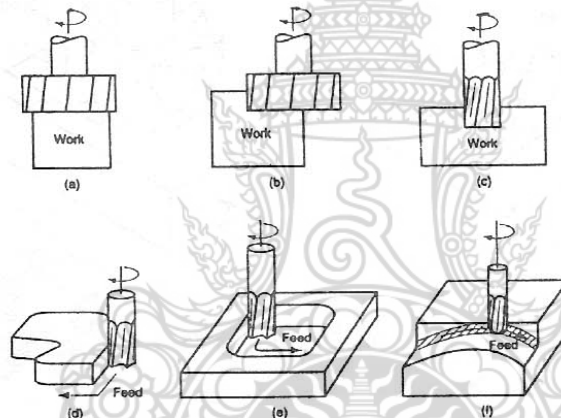
รูป ลักษณะของการกัด

การกัดในแนวนอน แกนของตัวกัดจะขนานกับผิวงาน มีหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกัด



รูป การกัดในแนวนอน

การกัดในแนวตั้ง แกนของตัวกัดจะตั้งฉากกับผิวงานมีหลายรูปแบบ ขึ้นกับชนิดของมีดกัด ดังรูป (a) กัดผิวราบ (Conventional Face Milling) (b) กัดบางส่วน (Partial Face Milling) (c) กัดร่อง (End Milling) (d) กัดตามรูปโครงร่าง (Profile Milling) (e) กัดเป็นหลุม (Pocket Milling) การกัดตั้งที่กล่าวมาเป็นการกัดในลักษณะ 2 มิติ และ (f) กัดผิวต่างระดับ (Surface Contouring) เป็นการกัด 3 มิติ ส่วนมากใช้ในการกัดแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ หรือพลาสติก



รูป การกัดในแนวตั้ง

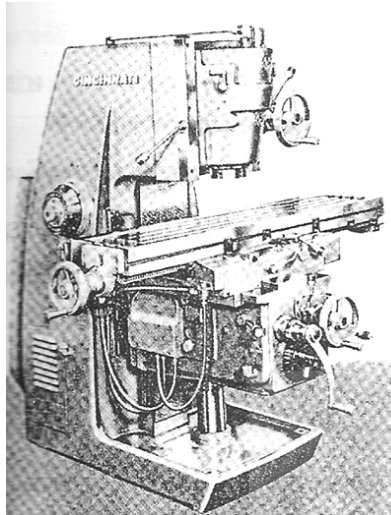
จะเห็นได้ว่าการกัดในแนวตั้งนั้น สามารถทำงานได้กว้างขวาง จึงเป็นที่นิยมใช้งานอุตสาหกรรมมากกว่า

1) เครื่องกัด (Milling Machines)

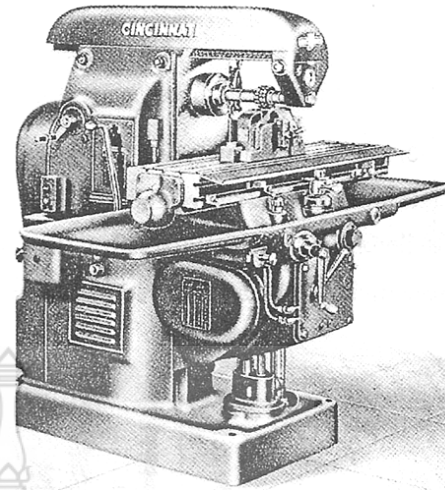
เครื่องกัดมีหลายแบบแบ่งตามลักษณะงานกัดได้ 2 ชนิด คือ เครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical Milling Machine) และเครื่องกัดแนวนอน (Horizontal Milling Machine)

1. เครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical Milling Machine) ลักษณะการกัดงานในแนวตั้ง ใช้กัดงานด้วยมีดกัดตั้ง เพลา มีดกัดจับมีดกัดไว้ในแนวตั้งหรือตั้ง หัวเพลาสสามารถหมุนได้ และปรับเป็นมุมต่าง ๆ ได้ ดังรูป

2. เครื่องกัดแนวนอน (Horizontal Milling Machine) ลักษณะการกัดงานในแนวนอน เพลา มีดกัดเป็นเพลานอนมีดกัดสวมอยู่บนเพลามีดกัด ดังรูป



รูป เครื่องกัดแนวตั้ง



รูป เครื่องกัดแนวนอน

ความเร็วตัด (Cutting Speed ; V_c) ความเร็วตัดของงานกัด คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของมีดกัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา วัดเป็นเมตรต่อนาที หรือมีหน่วยในระบบเมตริกเป็นเมตรต่อนาที (m/min) และมีหน่วยในระบบนิ้วเป็นฟุตต่อนาที (ft/min) การหาค่าความเร็วตัดในงานกัด สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

สูตรในระบบเมตริก

$$V_c = (n D \pi) / 1000 \quad \text{m/min}$$

(เมตร/นาที)

V_c = ความเร็วตัด (เมตร/นาที) D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกกัด (มม) n = ความเร็วรอบของเพลา (รอบ/นาที)

ความเร็วรอบของมีดกัด (Main Spindle Speed ; n)

ความเร็วรอบของมีดกัดคิดเป็นรอบต่อนาที และจะขึ้นอยู่กับความเร็วตัดของงานกัด การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วตัดของวัสดุชิ้นงานนั้นๆ การหาค่าความเร็วรอบในงานกัด สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

สูตรในระบบเมตริก

สูตรในระบบนิ้ว

$$n = (V_c 1000) / (D \pi) \quad \text{rpm}$$

$$n = (V_c 12) / (D \pi) \quad \text{rpm}$$

ความเร็วป้อนกัด (Feed Speed ; f)

ความเร็วป้อนกัด คือ การเคลื่อนที่ของโต๊ะงาน ที่นำชิ้นงานเข้าหาเม็ดกัดในนาทีหนึ่ง ๆ มีหน่วยเป็น มม./นาที การหาค่าความเร็วป้อนกัด สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

สูตรในระบบเมตริก

สูตรในระบบนิ้ว

$$F = f_z Z n \text{ มม.ต่อนาที (mm/min)}$$

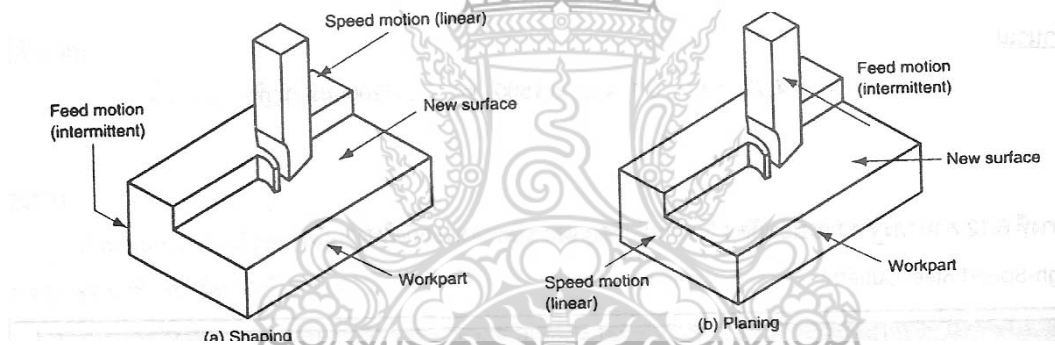
$$F = f_z Z n \text{ นิ้วต่อนาที (Inch/min)}$$

- F = ความเร็วป้อนกัด (มม./นาที)
- f_z = การป้อนกัดต่อฟัน (มม./ฟัน)
- Z = จำนวนฟันมีดกัด
- n = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

- F = ความเร็วป้อนกัด (นิ้ว/นาที)
- f_z = การป้อนกัดต่อฟัน (นิ้ว/ฟัน)
- Z = จำนวนฟันมีดกัด
- n = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

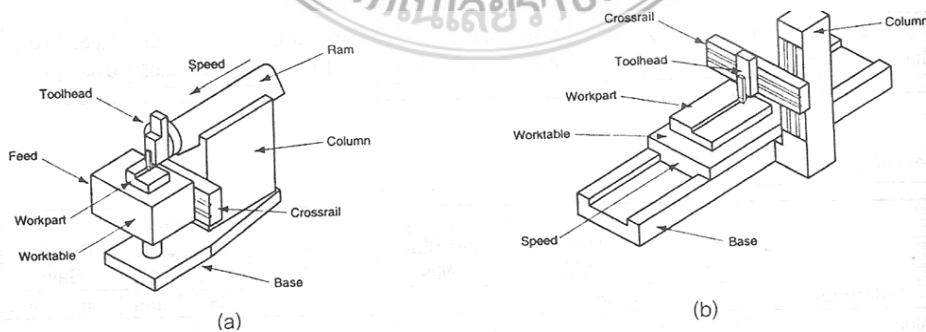
การไส (Shaping and Planing)

การไส เป็นลักษณะของการแปรรูปในแนวเส้นตรง เพื่อลดขนาดผิวหน้าของชิ้นงาน มีดไสจะตัดเฉือนกับชิ้นงานแนวเส้นตรง ด้วยความเร็วที่ไม่สูง มี 2 ลักษณะการทำงาน คือ Shaping และ Planing ดังรูป



รูป ลักษณะการไสแบบ Shaping และ Planing

Shaping เป็นการไสที่ชิ้นงานจะถูกยึดติดอยู่กับโต๊ะงาน แล้วมีดไสเป็นตัวเคลื่อนที่ตัดเฉือนชิ้นงานโดยการพาของ Ram ที่เคลื่อนในแนวเส้นตรง ทิศทางไป-กลับ จึงหว่าเดินหน้าเป็นการไสงาน ลักษณะของเครื่องไสแบบ Shaping ดังรูป (a)

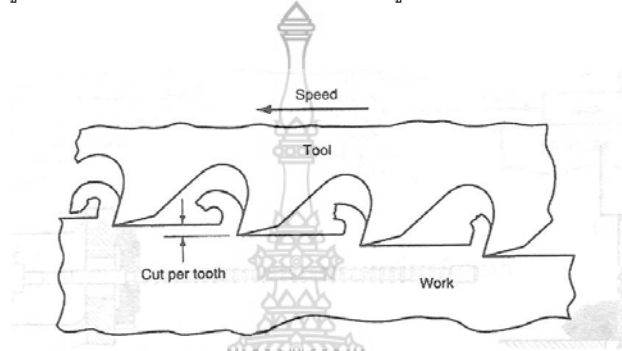


รูป เครื่องไสแบบ Shaping และ Planing

Planing เหมาะกับการไสงานที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ชิ้นงานจะเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าหาเม็ดไสโดยการพาของโต๊ะงาน และมีเม็ดไสจะอยู่กับที่ ดังรูป (b)

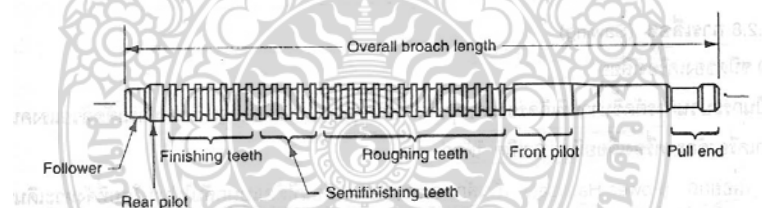
การแทงขึ้นรูป (Broaching)

การแทงขึ้นรูปเป็นการแปรรูปงานด้วยเครื่องมือตัดที่มีฟันหลายฟัน และมีทิศทางในแนวเส้นตรง ดังรูป เครื่องมือตัดเรียกว่า Broach ใช้เหมาะกับการงานที่ต้องการความรวดเร็ว และมีจำนวนมาก ๆ สามารถแทงขึ้นรูปงานได้รูปร่างตามความต้องการ ทั้งนี้ขึ้นกับรูปร่างของ Broach ยิ่งรูปร่างซับซ้อนมากก็ยิ่งมีราคาแพงมาก



รูป การตัดเฉือนในการแทงขึ้นรูป

รูป แสดงให้เห็นส่วนต่างๆ ของ Broach ที่ใช้แทงขึ้นรูปภายใน ซึ่งฟันแต่ละฟันจะมีขนาดไม่เท่ากัน โดยเรียงจากสั้นไปหายาว แรงที่ใช้ในการกัด Broach ผ่านชิ้นงานจะใช้แรงที่สม่ำเสมอ และต่อเนื่องอย่างช้า ๆ



รูป ส่วนต่างๆ ของ Broach

การเลื่อย (Sawing)

1) ชนิดของเครื่องเลื่อย

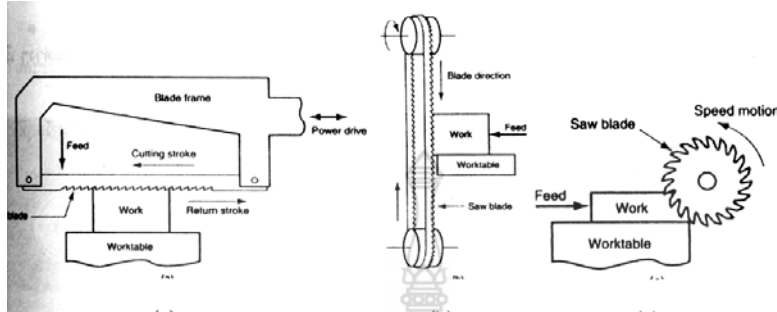
เป็นกระบวนการตัดชิ้นงานที่เกิดร่องแคบๆ เสียเศษวัสดุน้อยโดยใช้ใบเลื่อย ซึ่งสามารถตัดด้วยแรงคน (Hacksaw) หรือแรงจากเครื่องจักร เครื่องเลื่อยมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

1. เลื่อยกล (Power Hacksaw) เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ตัดแบบกลับไปมา โดยที่จังหวะเดินหน้าเป็นการตัดงาน และจังหวะถอยหลังเป็นจังหวะไม่ได้ตัดงาน เลื่อยกลใช้สำหรับตัดงานทั่ว ๆ ไป ดังรูป (a)

2. เลื่อยสายพาน (Bandsawing) เป็นการเคลื่อนที่ตัดอย่างต่อเนื่อง โดยทิศทางของใบเลื่อยเคลื่อนที่ไปทางเดียวมีมู่เล่ (Pulley) เป็นตัวขับ ดังรูป (b) เลื่อยสายพานใช้ตัดงานที่มีรูปร่างคดไปมาได้ มีทั้ง

แบบแนวตั้ง และแนวนอนแบบแนวนอนการทำงานคล้ายกับ เลื่อยกล ต่างกันที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของใบเลื่อยเท่านั้น

3. เลื่อยวงเดือน (Circular Sawing) ดังรูป (c) ใบตัดจะเป็นวงกลมมีฟันอยู่โดยรอบเหมาะกับการตัดงานที่บาง ๆ และทื่อ ความเร็วรอบของเลื่อยชนิดนี้จะสูงกว่าทั้งสองชนิด จึงสามารถตัดชิ้นงานได้รวดเร็ว



รูป ลักษณะการทำงานของเลื่อยชนิดต่าง ๆ

การขัดสี

เป็นการแปรรูปด้วยคมตัดที่เป็นวัสดุแข็ง อนุภาคจะถูกยึดให้ติดกันด้วยตัวยึด และขึ้นรูปเป็นฟอร์มต่างๆ เรียกว่า หินเจียรระโน ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

วัสดุผลขัด ต้องมีคุณสมบัติด้านความแข็ง ทนต่อการสึกหรอ เหนียว และความร้อนที่พอเหมาะ วัสดุที่ใช้ทำผงขัด เช่น Al_2O_3 SiC CBN และDiamond ซึ่งมีความแข็ง ดังตาราง

ตาราง ค่าความแข็งของวัสดุผงขัด

วัสดุผงขัด	ความแข็ง (HK)
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	2,100
Silicon Carbide (SiC)	2,500
Cubic Boron Nitride (CBN)	5,000
Diamond	7,000

หินเจียรระโนมีอยู่ 2 ชนิด คือ เป็นวัสดุชนิดเดียวกันตลอดทั้งก้อน เช่น อะลูมินัมออกไซด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ มีรูปร่าง และขนาดที่หลากหลาย สามารถเลือกนำไปใช้งานได้สะดวก ดังรูป



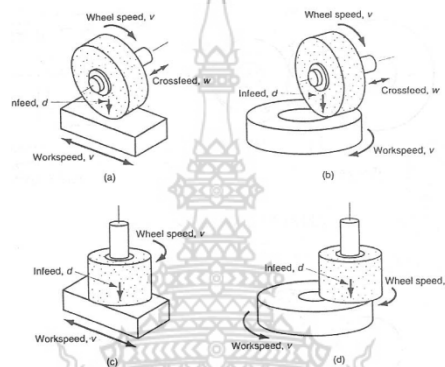
รูป หินเจียรระโนที่ใช้กับงานทั่ว ๆ ไป

การเลือกใช้หินเจียรระไนก่อนใช้ต้องดูที่หินก่อน ซึ่งผู้ผลิตจะต้องเขียนกำกับไว้ถึงรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวกับคุณสมบัติ และชนิดของส่วนประกอบของหินเจียรระไนก่อนนั้น

การเจียรระไน (Grinding)

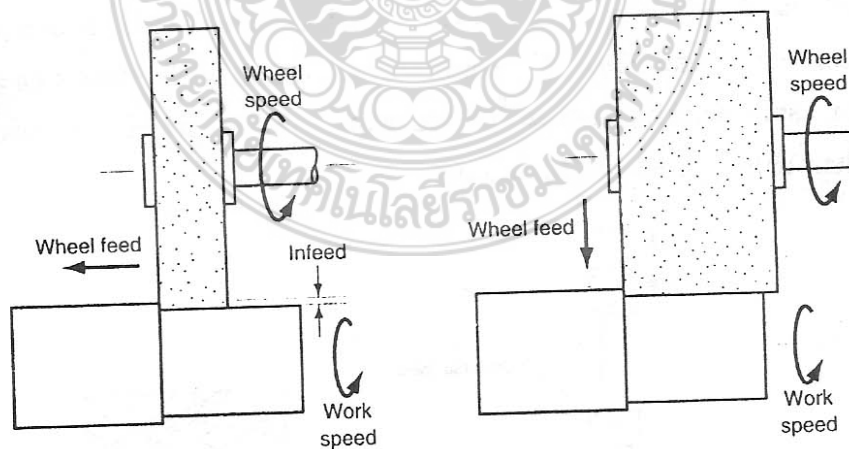
วิธีการเจียรระไน (Method of Grinding) มีหลายแบบดังนี้

การเจียรระไนราบ (Surface Grinding) เป็นการเจียรระไนผิวราบโดยทั่วไป ดังรูป (a) เพลาของล้อหินหมุนอยู่ในแนวนอน และชิ้นงานจะเคลื่อนที่ไปมาผ่านล้อหิน (b) ชนิดนี้ชิ้นงานทรงกลมหมุนผ่านล้อหิน และเพลาของล้อหินหมุนอยู่ในแนวนอน (c) เพลาของล้อหินหมุนอยู่ในแนวตั้ง และชิ้นงานเคลื่อนที่ไปมาผ่านล้อหิน (d) ชิ้นงานทรงกลมหมุนผ่านล้อหิน และเพลาของล้อหินหมุนอยู่ในแนวตั้ง



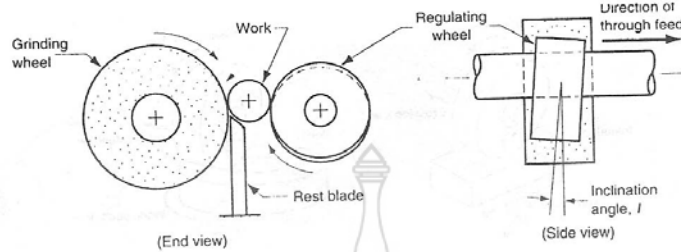
รูป การเจียรระไนผิวราบ

การเจียรระไนกลม (Cylindrical Grinding) เป็นการเจียรระไนชิ้นงานทรงกระบอก ได้ทั้งภายนอก และภายใน ดังรูป การเจียรระไนภายนอกนั้น ชิ้นงาน และล้อหินจะหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งชิ้นงานจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 60 ถึง 100 ฟุตต่อนาที และล้อหินจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 4,000 ถึง 6,500 ฟุตต่อนาที การเจียรระไนภายในชิ้นงานกับล้อหินจะหมุนสวนทางกัน ชิ้นงานจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 75 ถึง 200 ฟุตต่อนาที ส่วนล้อหินจะหมุนเท่ากับการเจียรระไนภายนอก

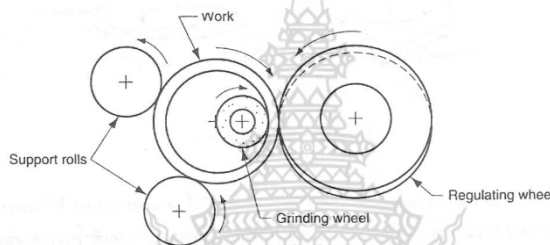


รูป การเจียรระไนทรงกระบอก

การเจียรไนไร้ศูนย์กลาง (Centerless Grinding) เป็นการเจียรไนทรงกระบอกชนิดหนึ่ง แต่ไม่มีการจับยึดชิ้นงานแต่อย่างใด ซึ่งสามารถกระทำได้ที่ทั้งภายนอก และภายใน ดังรูป วิธีใช้กับงานที่ต้องผลิตเป็นจำนวนมาก ล้อประคองป้อน (Regulating Wheel) จะเป็นตัวประคอง และป้อนชิ้นงาน หมุนด้วยความเร็วต่ำ และเอียงทำมุมกับแนวตั้ง



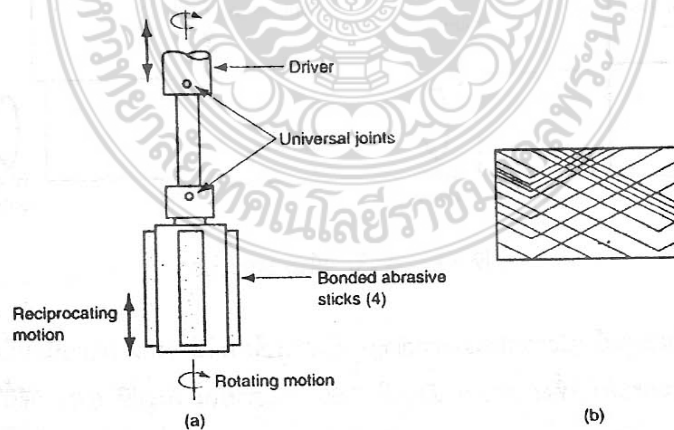
รูป การเจียรไนไร้ศูนย์กลางภายนอก



รูป การเจียรไนไร้ศูนย์กลางภายใน

การขัดผิวเรียบแบบ Honing

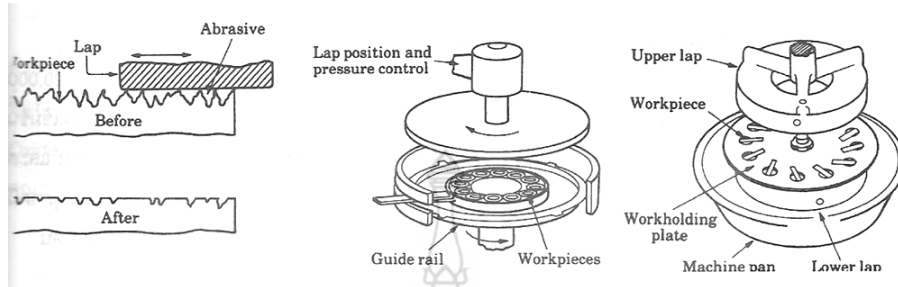
ใช้สำหรับขัดงาน เช่น ดัดปลอกปืน กระบอกสูบ และกระบอกปืน เป็นต้น ผิวที่ได้ประมาณ 5 μm ที่กล่าวมาเป็นการเจียรไนภายในทรงกระบอกทั้งสิ้น เครื่องมือที่ใช้ Honing นั้นจะเป็นทรงกระบอกที่มีแท่งขัด 2 ถึง 4 แท่งติดอยู่โดยรอบซึ่งจะหมุนรอบตัวเอง และในขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ขึ้นลงด้วย ดังรูป (a) ส่วนรูป (b) แสดงรอยที่เกิดจากการ Honing ความเร็วรอบที่ใช้ประมาณ 50 ถึง 500 ฟุตต่อนาที



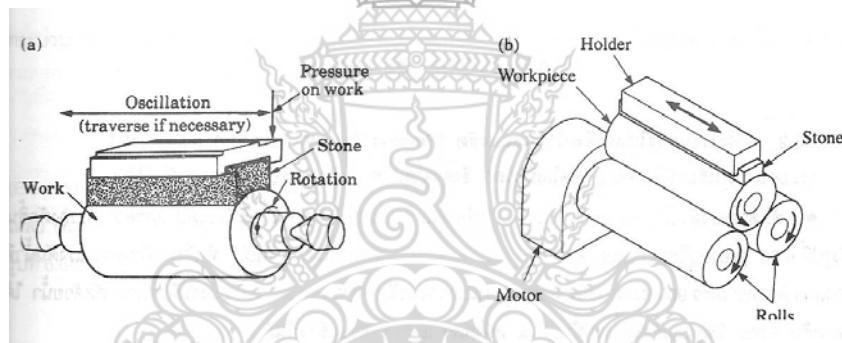
รูป การขัดผิวเรียบแบบ Honing

การขัดผิวเรียบแบบ Lapping

เป็นกระบวนการขัดงานที่ต้องการผิวที่เรียบมาก เช่น เลนส์แว่นตา ผิวแข็ง หรือชิ้นส่วนที่ต้องการผิวเรียบมากๆ การ Lapping ผิวที่ได้ประมาณ $0.025 - 0.1\mu\text{m}$ ดังรูป



รูป ลักษณะงานขัดผิวเรียบแบบ Lapping



รูป ลักษณะงานขัดผิวเรียบแบบ Superfinishing

การขัดผิวเรียบแบบ Polishing

เป็นกรรมวิธีขัดมันให้ชิ้นงาน ด้วยล้อยขัดที่มีความเร็วสูงประมาณ 7,500 ฟุตต่อนาที ทำด้วยผ้าใบ หรือหนังสัตว์ลึกลับลาด พร้อมกับใส่ผงขัดลงไประหว่างชิ้นงาน กับล้อยขัดในขณะที่ทำการขัดชิ้นงาน

การขัดผิวเรียบแบบ Buffing

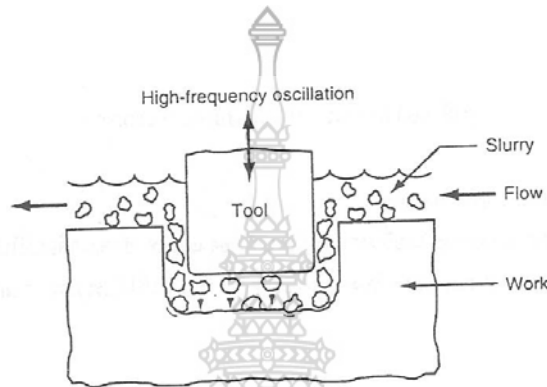
คล้ายกับการ Polishing แต่เป็นการเพิ่มความเงาให้กับชิ้นงาน ล้อยขัดใช้วัสดุชนิดเดียวกัน แต่ผงขัดจะมีขนาดเล็กกว่า ความเร็วในการขัดประมาณ 8,000 ถึง 7,000 ฟุตต่อนาที

กระบวนการแปรรูปแบบไม่คายเศษ

การแปรรูปแบบไม่คายเศษ จะใช้พลังงานทางกล พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า และพลังงานเคมี ในการแปรรูป แทนการใช้เครื่องมือตัด และเครื่องจักรกลต่าง ๆ

แปรรูปด้วยคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic Machining)

การแปรรูปด้วยคลื่นอุลตราโซนิก หรือกระบวนการ USM กระทำโดยการปล่อยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง 20,000 Hz ผ่านเครื่องมือ (Tool) ให้สั่นเหนือชิ้นงาน ในขณะที่เดียวกันก็ฉีดของเหลวผสมผงขัดด้วยความเร็วสูง มีความเข้มข้น 20 – 60% ชิ้นงานสำเร็จจะมีรูปร่างตามรูปร่างของเครื่องมือ และวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือ คือ เหล็กอ่อน และสแตนเลส ส่วนผงขัดที่ใช้ได้แก่ Boron Nitride, Boron Carbide, Aluminum Oxide, Silicon Carbide และเพชร อนุภาคมีขนาด 100 – 2000 อัตราการสึกหรอของเครื่องมือขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุงาน เช่น เซรามิกส์ แก้ว และคาร์ไบด์ เป็นต้น

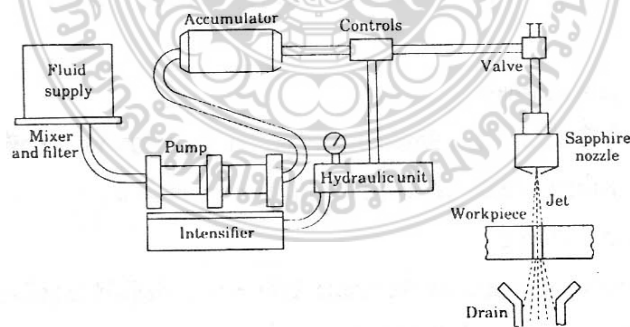


รูป ลักษณะงาน USM

กระบวนการใช้แรงฉีดน้ำ และผงขัด (Process Using Water and Abrasive Jets)

กระบวนการนี้ใช้น้ำที่มีแรงดันสูงฉีดไล่เนื้อวัสดุ ซึ่งอาจใช้น้ำอย่างเดียว หรือใช้น้ำผสมผงขัดก็ได้

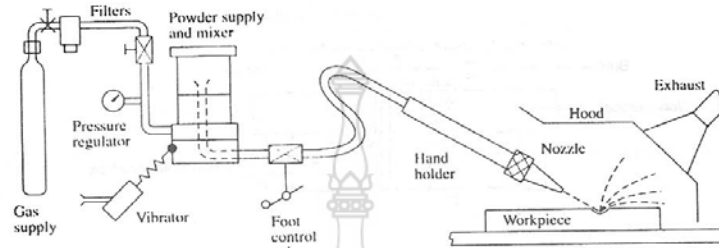
ตัดด้วยแรงดันน้ำ (Water Jet Cutting) หรือ WJC เป็นการใช้น้ำที่มีแรงดัน และความเร็วสูงตัดชิ้นงาน รูของหัวฉีดจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 – 0.4 มม. ทำด้วยแร่หิน ฟันน้ำ ทับทิม หรือเพชร แรงดันน้ำที่ใช้ 400 Mpa ด้วยความเร็ว 900 เมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับชิ้นงาน 3.2 มม. ชิ้นงานที่สามารถตัดด้วยน้ำ ได้แก่ พลาสติก ลิงทอ วัสดุผสมกระเบื้องปูพื้น พรม หนังสัตว์ และกระดาษแข็ง เป็นต้น



รูป ลักษณะงาน Water Jet Cutting

ตัดด้วยแรงดันน้ำผสมผงขัด (Abrasive Water Jet Cutting) หรือ AWJC ใช้น้ำผสมผงขัด เช่น Aluminum Oxide, Silicon Dioxide และแกริโอเมน (Garnet) อนุภาคมีขนาด 60 – 120 ปริมาณที่ฉีดผ่านหัวฉีดประมาณ 0.23 Kg/min รูของหัวฉีดโต 0.25 – 0.63 มม. ทำจากวัสดุชนิดเดียวกันกับ WJC และแรงดันน้ำเท่ากับ WJC ใช้ตัดได้ทั้งโลหะ และอโลหะ

แปรรูปโดยการพ่นด้วยผงขัด (Abrasive-Jet Machining) หรือ AJM ใช้แรงดันของก๊าซพาอนุภาคของผงขัดด้วยความดัน 0.2 – 1.4 Mpa และความเร็ว 2.5 – 5.0 เมตรต่อวินาที รูของหัวฉีดโต 0.075 – 1.0 มม. ใช้กับงานตกแต่ผิวชิ้นงาน และตัดชิ้นงานที่เปราะ หรือแตกหักง่าย เช่น แก้วซิลิกอน ไมกา และเซรามิกส์ ผงขัดที่ถูกนำมาใช้คือ Aluminum Oxide, Silicon Carbide ขนาดของอนุภาค 15 – 40 μm ผงขัดที่ใช้แล้วจะไม่นำกลับมาใช้ใหม่ เพราะว่าแตกหัก เสื่อมคุณภาพ และเกิดการปนเปื้อน ดังรูป

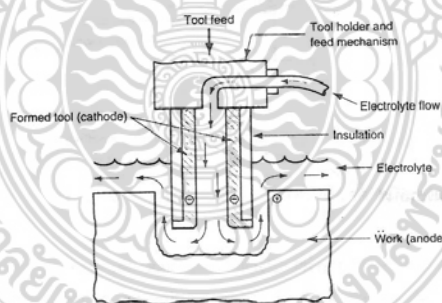


รูป ลักษณะงาน Abrasive-Jet Machining

กระบวนการนี้เป็นการทำปฏิกิริยาร่วมกันระหว่าง พลังงานไฟฟ้ากับเคมี แต่มีข้อจำกัดที่วัสดุงานจะต้องเป็นตัวนำทางไฟฟ้า

การแปรรูปด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Machining)

การแปรรูปด้วยไฟฟ้าเคมี หรือ ECM เป็นกระบวนการพื้นฐานของกลุ่มนี้ ชิ้นงานจะเป็นขั้วบวก และแท่งเครื่องมือ (Electrode Tool) จะเป็นขั้วลบ ชิ้นงานจะถูกแปรรูปไปตามรูปร่างของแท่งเครื่องมือ ระหว่างการแปรรูปต้องมีการฉีดของเหลว (น้ำส้มเกลือ) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารละลายไฟฟ้า (Electrolyte) และทำหน้าที่ไล่เศษโลหะออกจากชิ้นงานด้วย ดังรูป



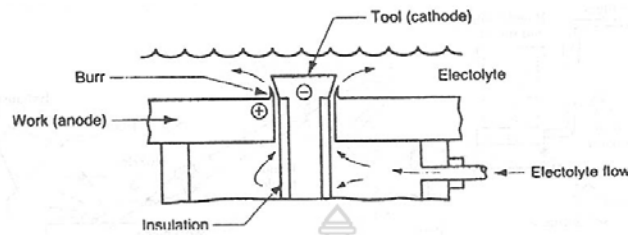
รูป ลักษณะงาน Electrochemical Machining

แท่งเครื่องมือทำมาจาก ทองแดง ทองเหลือง หรือสแตนเลส และเพื่อมิให้แท่งเครื่องมือเกิดการสึกหรอที่บริเวณด้านข้าง จึงต้องมีการหุ้มด้วยฉนวน และขณะปฏิบัติงานแท่งเครื่องมือจะไม่สัมผัสงานเลย และจะมีการรักษาระยะช่องว่างให้คงที่เท่ากันตลอด ประมาณ 0.075 – 0.75 มม. ECM จะเหมาะกับงานที่มีความแข็งมากๆ และมีรูปร่างซับซ้อน ซึ่งยากต่อการแปรรูป

การลบคมด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Deburring)

การลบคมด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี หรือ ECD หลักการทำงานเหมือนกับ ECM เพียงแต่ใช้เวลาในการทำงานในช่วงสั้นๆ เพียงไม่ถึงนาที ใช้กับชิ้นงานที่ผ่านการเจาะ หรือการแปรรูปแล้ว

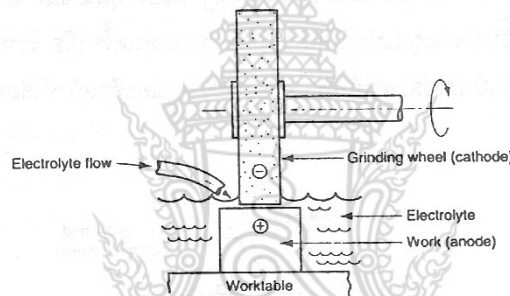
ปรากฏว่ามีรอยเย็น มีความคมยื่นออกมา ดังรูป นอกจากนี้ยังใช้กับงานที่ต้องการลบมุม หรือผายปากรูได้อีก เหมาะกับงานที่มีความแข็งมาก ๆ



รูป ลักษณะงาน Electrochemical Deburring

การเจียรไนด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Grinding)

การเจียรไนด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี หรือ ECG หลักการทำงานคล้ายกับ ECM เพียงแต่เพิ่มล้อหินเจียรไนที่ใช้ตัวยึด (Bond) ที่เป็นวัสดุนำไฟฟ้า และเป็นขั้วลบ ผงขัดคือ Aluminum Oxide และเพชร ผงขัดจะยื่นออกมาจากล้อหิน และสัมผัสกับชิ้นงานซึ่งเป็นขั้วบวก ดังรูป

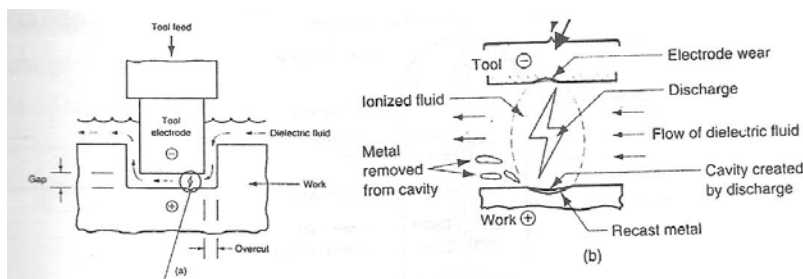


รูป ลักษณะงาน Electrochemical Grinding

กระบวนการนี้พลังงานความร้อนที่ใช้ ต้องเพียงพอที่จะทำให้เศษชิ้นงานหลุดออกโดยการแพร์ หรือกลายเป็นไอได้

การกัดด้วยการจ่ายประจุไฟฟ้า (Electric Discharge Machine)

การกัดด้วยการจ่ายประจุไฟฟ้า หรือ EDM เป็นการแปรรูปที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง รูปร่างของชิ้นงานสำเร็จจะเหมือนกับแท่งของเครื่องมือซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ และชิ้นงานเป็นขั้วบวก แท่งเครื่องมือจะปล่อยกระแสไฟฟ้ามายังชิ้นงาน ชิ้นงานจะหลอมละลาย ในขณะที่เดียวกันก็จะพ่นฉีดของเหลวที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า เข้าไปได้เศษของชิ้นงานออกมา รูป (b) แสดงช่องว่างระหว่างชิ้นงาน และแท่งเครื่องมือ ซึ่งต้องรักษาระยะไว้ให้คงที่อยู่เสมอ



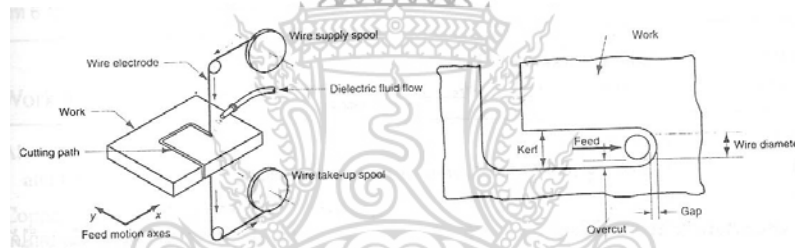
รูป ลักษณะงาน Electric Discharge Machine

แท่งเครื่องมือต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติ ด้านการนำไฟฟ้าที่ดี เช่น ทองแดง กราไฟต์ ทองเหลือง ทองแดงผสมทั้งสแตน และเงินผสมทั้งสแตน เป็นต้น ชิ้นงานที่มีความแข็งมากก็ไม่เป็นอุปสรรคกับการแปรรูปด้วยวิธีนี้ แต่ต้องมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า

ของเหลวที่ใช้ ได้แก่ น้ำมันไฮโดรคาร์บอน น้ำมันก๊าด น้ำกลั่น เพราะเป็นของเหลวที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า EDM นิยมนำมาใช้ทำ แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์สำหรับการตีขึ้นรูปรีออน และแม่พิมพ์ในการดึงลวด เป็นต้น

การตัดด้วยการจ่ายประจุไฟฟ้าเข้าลวด (Electric Discharge Wire Cutting)

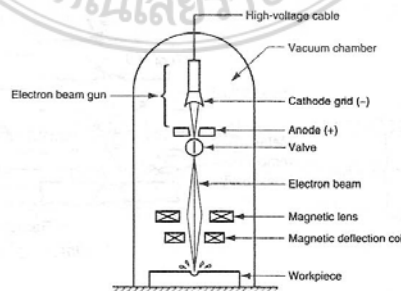
การตัดด้วยการจ่ายประจุไฟฟ้าเข้าลวด หรือ EDWC หรือ Wire EDM หลักการทำงานเหมือนกับ EDM แต่ต่างกันที่เปลี่ยนจากแท่งเครื่องมือ มาเป็นใช้ลวดแทนดังนั้นชิ้นงานจะถูกแปรรูปในลักษณะของการตัด รอยตัดที่เกิดขึ้นจึงแคบแต่จะโตกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดประมาณ 0.020 – 0.051 มม. ดังรูป และในขณะที่ทำการตัดต้องมีการฉีดพ่นของเหลวที่เป็นฉนวน เช่น น้ำกลั่น และจะฉีดพ่นตลอดเวลา ลวดที่ใช้ตัดจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.076 – 0.30 มม. ทำจากวัสดุ ทองเหลือง ทองแดง ทั้งสแตน และโมลิบดีนัม



รูป ลักษณะงาน Electric Discharge Wire Cutting

การแปรรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron Beam Machining)

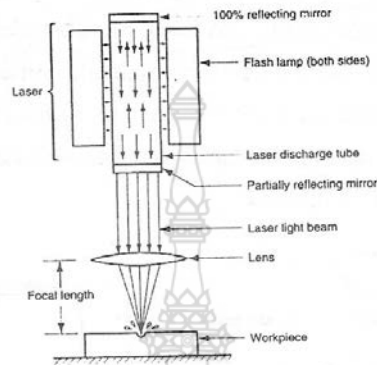
การแปรรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน หรือ EBM ใช้การรวมลำแสงของอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูง ยิ่งลงบนชิ้นงานให้หลอมละลาย และระเหยเศษออกไป ดังรูป เลนส์ที่ใช้ในการรวมแสงมีเส้นผ่าศูนย์กลาง เล็กมากประมาณ 0.025 มม. การแปรรูปด้วยวิธีนี้ต้องอยู่ในสภาวะสุญญากาศ เพื่อป้องกันอิเล็กตรอนไปรวมตัวกับโมเลกุลของก๊าซ ชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงสูง เช่น การตัด และต้องการเจาะรูขนาดเล็ก และมีความลึกมากๆ เหมาะกับกระบวนการนี้



รูป ลักษณะงาน Electron Beam Machining

การแปรรูปด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam Machining)

ในปัจจุบันแสงเลเซอร์ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น ด้านวิศวกรรมถูกนำมาใช้ในการตัด การเจาะ และการเชื่อมโลหะหรือเรียกว่า กระบวนการ LBM กระทำโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นลำแสงที่มีความเข้มสูง และมีความยาวคลื่นเดียว แล้วผ่านเลนส์รวมแสงให้มีความเข้มสูงขึ้น เพื่อหลอมละลายชิ้นงานให้ระเหย หรือสึกกร่อนหลุดออกไปด้วยความเร็วสูง ดังรูป

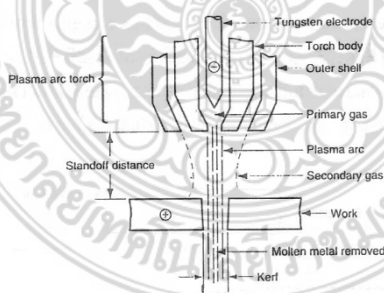


รูป ลักษณะงาน Laser Beam Machining

แสงเลเซอร์สามารถเจาะรูที่มีความโต 0.025 – 0.50 มม. และสามารถแปรรูปชิ้นงานที่เป็นวัสดุชนิดใดก็ได้ เช่น โลหะอ่อน หรือแข็ง เซรามิกส์ แก้ว พลาสติก ยาง ฝ้า และไม้ เป็นต้น

กระบวนการตัดด้วยการอาร์ค (Arc Cutting Processes)

กรรมวิธีนี้ได้รับความร้อนจากการอาร์คของกระแสไฟฟ้า แล้วทำให้โลหะหลอมละลาย Plasma Arc Cutting หรือ PAC Plasma เป็นพลังงานความร้อนที่สูงมากประมาณ 10,000 – 14,000°C สามารถตัดโลหะให้เป็นช่องด้วยความเร็วสูง ดังรูป



รูป ลักษณะงาน Plasma Arc Cutting

Plasma อาร์ค เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดที่ทำด้วยทังสเตน ด้านในหัวตัด (Torch) ซึ่งเป็นขั้วลบ กับชิ้นงานที่เป็นขั้วบวก เนื่องจากการอาร์คทำให้เกิดความร้อนสูง หัวตัดต้องมีการหล่อเย็นด้วยน้ำ ก๊าซที่ใช้ปกคลุมจะให้การอาร์คสม่ำเสมอ และชิ้นงานมีความสะอาดจะเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน-ไฮโดรเจน เหมาะกับชิ้นงานที่เป็นเหล็กคาร์บอน สแตนเลส และอะลูมิเนียม

Air Carbon Arc Cutting กระบวนการนี้ การอาร์คเกิดขึ้นระหว่างแท่งคาร์บอนกับชิ้นงานที่เป็นโลหะ ในขณะที่มีการฉีดอากาศด้วยความเร็วสูง ผ่านหลุมที่เกิดการหลอมละลายของโลหะ เหมาะกับชิ้นงานจำพวก เหล็กหล่อ เหล็กคาร์บอน โลหะผสมต่ำ และสแตนเลส โลหะนอก จำพวกเหล็กจะไม่เหมาะ เพราะจะเกิดน้ำโลหะที่หลอมละลาย กระเด็นใส่จะก่อให้เกิดอันตรายได้



เนื้อหาบทเรียน บทที่ 6 การต่อวัสดุ Materials Joining

เป็นเวลารับานานมาแล้วที่การต่อวัสดุถูกนำมาใช้จนกระทั่งทุกวันนี้ ในการที่จะทำการประกอบเกี่ยวกับเหล็ก โครงสร้างและเครื่องจักรกลให้ติดกัน ข้อดีที่เห็นได้ชัดในการใช้วิธีการต่อวัสดุโครงสร้างและเครื่องจักรกลนี้ สามารถที่จะให้การประหยัดในการใช้วัสดุในจำนวนที่น้อย และใช้วิธีปฏิบัติที่ง่าย ๆ ขอบข่ายของการนำวิธีการต่อวัสดุไปใช้จึง น้ำมัน เครื่องจักรกล สำหรับการอุตสาหกรรมชนิดต่าง ๆ และตู้โดยสารรถไฟ ช่วยทำให้การประกอบชิ้นส่วนให้ติดกันเป็นต้น

การต่อวัสดุ Materials Joining หมายถึง การนำเอาวัสดุต่อประกอบให้เป็นรูปร่างตามต้องการเพื่อนำไปใช้งาน การต่อวัสดุสามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1. การเชื่อม (Welding)
2. การต่อโดยใช้ตัวประสาน
3. การต่อทางกล

กระบวนการเชื่อมแบบไม่หลอมละลาย

วิวัฒนาการของกระบวนการทางเทคนิคที่ใช้ในการเชื่อมพอจะกล่าวได้ ดังนี้ การเชื่อมเป็นเทคนิคในการทำให้ติดกันของโลหะสองชนิดที่มีวิวัฒนาการมาก่อนปีแห่งประวัติศาสตร์ ตัวอย่างเช่น การประสานทำให้ติดกันระหว่างโลหะผสมทองและทองแดงและโลหะผสมระหว่างตะกั่วกับดีบุก ที่ถูกค้นพบกันมาตอนพุทธศักราชไม่น้อยกว่า 3,000 ปี ไม้พีนหรือถ่านหินถูกนำมาใช้เป็นตัวให้ความร้อน แต่เป็นความร้อนที่มีขีดจำกัดทำให้การต่อติดกันไม่วิวัฒนาการเท่าที่ควร

หลังจากมีพลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดการประยุกต์สูงขึ้น เทคนิคการเชื่อม ทำให้เกิดความก้าวหน้าและแปลกประหลาดขึ้นมา ซึ่งกลายเป็นกระบวนการเชื่อมทั้งหลายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอย่างกว้างขวาง การเชื่อมอาร์คด้วยไฟฟ้า การเชื่อมโดยใช้ความต้านทานกระแสไฟฟ้า การเชื่อมแบบเทอร์มิต (Thermit welding) และการเชื่อมก๊าซที่ถูกบันทึกไว้หลังจากศตวรรษที่ 19

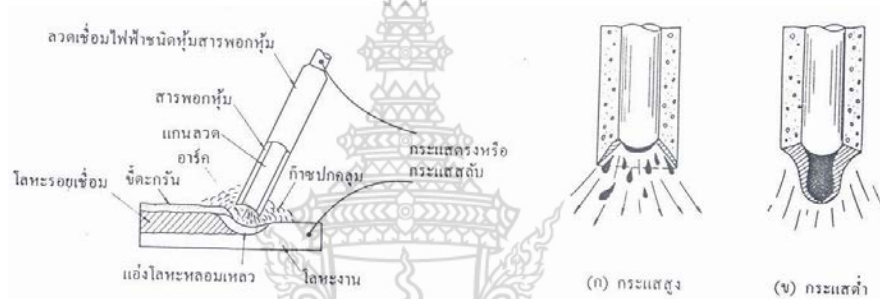
การเชื่อมด้วยอาร์คด้วยไฟฟ้า เครื่องมือและ การปฏิบัติถูกนำมาใช้โดยเบนาร์เดส (Benardes) ในปี พ.ศ. 2428 (ค.ศ. 1885) โดยใช้แท่งแกรไฟไฟร์ หรือแท่งคาร์บอน ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเป็นตัวลวดเชื่อมทำให้เกิดกระแสไฟอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับโลหะแม่แบบ โดยทำให้เกิดอาร์คขึ้นในช่องว่างประมาณ 2 มิลลิเมตร ทำให้เกิดความร้อนแล้วใช้โลหะที่เหมือนกับโลหะแม่แบบเดิมให้หลอมละลายเชื่อมติดกัน

การเชื่อมแบบอาร์ค (Arc welding)

การเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม (Covered arc welding)

การเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้มเป็นการเชื่อมที่แพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบัน การเชื่อมแบบนี้จะใช้ลวดเชื่อมซึ่งมีแกนกลางเป็นเส้นลวดโลหะหุ้มด้วยสารพอกหุ้ม (flux) ดังแสดงในรูป ขณะเชื่อมจะเกิดการอาร์คขึ้นระหว่างโลหะงานกับปลายลวดเชื่อม ความร้อนจากอาร์คจะหลอมละลายวัสดุทั้งสองและผสมรวมกันเป็นรอยเชื่อม

โลหะลวดเชื่อมซึ่งถูกหลอมเหลวจะหยดลงในแอ่งโลหะหลอมเหลว (metal pool) ซึ่งเกิดอยู่บนโลหะงาน หยดโลหะจากลวดเชื่อม ตามปกติจะมีขนาดเล็ก ๆ ถ้าใช้กระแสเชื่อมสูง ดังแสดงในรูป(ก) หยดโลหะจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมต่ำ ดังแสดงในรูปที่ (ข)



รูปแสดงหลักการเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม

รูปแสดงคุณลักษณะของการถ่ายเทโลหะจากลวดเชื่อม

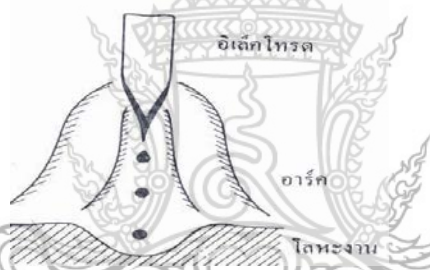
รูปแบบของการถ่ายเทโลหะดังที่กล่าวมาแล้วนั้นจะมีอิทธิพลกับคุณภาพของรอยเชื่อม ปกติคุณภาพของรอยเชื่อมจะสูงเมื่อหยดโลหะมีขนาดเล็ก รูปแบบของการถ่ายเทโลหะจะเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดกระแสที่ใช้ในการเชื่อม และส่วนประกอบของสารพอกหุ้มของลวดเชื่อมที่ใช้ สารพอกหุ้มของลวดเชื่อม เมื่อถูกหลอมเหลวจะกลายเป็นชี้ตะกรัน (slag) ปกคลุม แอ่งโลหะหลอมเหลวและยังทำหน้าที่กำจัดสิ่งเจือปนที่มีโลหะหลอมเหลวอีกด้วย ส่วนประกอบบางชนิดในสารพอกหุ้มลวดเชื่อมมีคุณสมบัติไม่ติดไฟแต่จะสลายตัวเป็นแก๊สปกคลุมแอ่งโลหะหลอมเหลวไว้ และจำทำให้อาร์คเรียบคงที่

การเชื่อมแบบมิก (MIG)

การเชื่อมแบบมิกดังแสดงไว้ในรูป การเชื่อมแบบนี้ลวดเชื่อมจะถูกป้อนติดต่อกันโดยอาร์คจะเกิดขึ้นระหว่างปลายลวดเชื่อมกับโลหะงาน ก๊าซคลุมอาร์คที่ใช้คือฮีเลียม อาร์กอน หรือก๊าซผสมระหว่างฮีเลียมกับอาร์กอน บางครั้งอาจผสมก๊าซออกซิเจนไว้ในก๊าซผสมประมาณ 2-5% หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5-20% กับก๊าซอาร์กอน เพื่อช่วยทำให้อาร์คได้เรียบ ประสิทธิภาพของการเชื่อมแบบมิกเป็นจุดที่น่าสังเกตและการเชื่อมมีคุณลักษณะดังนี้

- 1) เนื่องจากอาร์คของการเชื่อมมีขนาดเล็กแต่รุนแรง อาร์คได้เรียบและมีสะเก็ดเชื่อมเพียงเล็กน้อยจึงทำให้เชื่อมได้ง่าย
- 2) เนื่องจากใช้กระแสที่มีความหนาแน่นสูงเป็นกระแสเชื่อม จึงทำให้ลวดเชื่อมมีอัตราการหลอมเหลวสูง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมสูง
- 3) มีขี้ตะกรันเกิดขึ้นน้อย
- 4) รอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมแบบมิก มีความเหนียว มีอำนาจการยึดหยุ่น ไม่มีรูพรุน และไม่ไวต่อการเกิดรอยร้าว และอื่น ๆ รอยเชื่อมจึงมีคุณสมบัติพิเศษกว่ารอยเชื่อมซึ่งได้จากการเชื่อมแบบอื่น

การเชื่อมแบบมิกใช้ในงานเชื่อมด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะเหมาะสำหรับเป็นวิธีเชื่อมเหล็กกล้าที่มี คุณภาพ เช่นเหล็กไร้สนิม เหล็กความเค้นแรงดึงสูง และโลหะที่ไม่ใช่เหล็กที่ไม่อาจเชื่อมได้โดยวิธีการเชื่อมแบบอื่น ๆ



รูป ลักษณะของการถ่ายเทโลหะในการเชื่อมแบบมิก ชนิดถ่ายเทโลหะโดยพ่นเป็นละออง

การเชื่อมก๊าซ (Gas welding)

การเชื่อมก๊าซเป็นวิธีการเชื่อมซึ่งใช้ก๊าซออกซิเจนผสมกับก๊าซเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมจุดเป็นเปลวไฟให้ความร้อน สำหรับหลอมเหลวโลหะงานและลวดเชื่อม (filler) ก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเชื่อม คือ ก๊าซอะซิไธลีน โพรเพน และไฮโดรเจน ก๊าซทั้งสามชนิดนี้ก๊าซอะซิไธลีนเป็นก๊าซที่ใช้แพร่หลายในการเชื่อมก๊าซมากที่สุด โดยเหตุนี้การเชื่อมก๊าซโดยทั่วไปหมายถึงการเชื่อมด้วยก๊าซออกซิ-อะซิไธลีน

การเชื่อมด้วยออกซิ-อะซิไธลีน เป็นวิธีการเชื่อมซึ่งไม่แพร่หลายเท่ากับการเชื่อมแบบอาร์คใช้ลวดเชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม แต่เป็นวิธีการเชื่อมซึ่งไม่ต้องใช้พลังไฟฟ้า จึงเป็นวิธีการเชื่อมซึ่งใช้ในงานก่อสร้างต่าง ๆ ตาราง เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการเชื่อมก๊าซกับการเชื่อมไฟฟ้า

ตาราง แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการเชื่อมด้วยก๊าซออกซิ-อะซิไธลีนกับการเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวด

เชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม

รายการ	ชนิด	การเชื่อมด้วยก๊าซออกซิ-อะซิทีลีน	การเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม
ประสิทธิภาพ		ต่ำกว่า (อุณหภูมิเปลวไฟ 3000 องศาเซลเซียส)	สูงกว่า (อุณหภูมิอาร์ค 6000 องศาเซลเซียส)
ความสามารถการเชื่อม		ต่ำกว่า	ดี
ต้นทุนของอุปกรณ์		ต่ำ (หัวเชื่อม - เครื่องกำเนิดก๊าซ)	สูง เครื่องเชื่อม
ต้นทุนวัสดุการเชื่อม		เหมือนกัน (อะซิทีลีน ออกซิเจน ลวดเชื่อม ฟลักซ์)	เหมือนกัน (ลวดเชื่อม, กระแสไฟฟ้า)
ทักษะการเชื่อม		เหมือนกัน	เหมือนกัน
การใช้			ไม่จำกัด



รูป แสดงชนิดของเปลวไฟออกซิ-อะซิทีลีน

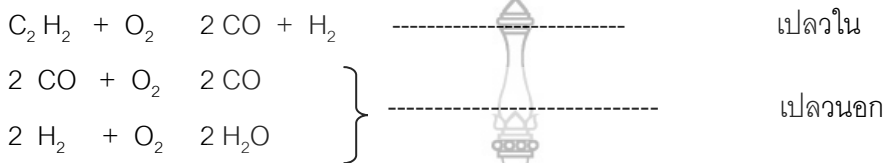
เปลวไฟออกซิ-อะซิทีลีน จะผันแปรเมื่อเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของก๊าซอะซิทีลีน-ออกซิเจน ดังแสดงในรูป เปลวไฟในรูปคือเปลวที่มีอะซิทีลีนผสมอยู่มาก หรือเรียกว่าเปลวลด (carburizing flame) เปลวกลาง (neutral flame) และเปลวไฟที่ออกซิเจนผสมอยู่มาก หรือเปลวเพิ่ม (oxidizing flame) และคุณลักษณะของเปลวไฟแต่ละชนิดมีดังนี้

1. เปลวกลาง : เปลวไฟชนิดนี้เกิดจากส่วนผสมระหว่างออกซิเจนกับอะซิทีลีนอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง ลักษณะของเปลวไฟชนิดนี้เปลวในจะเป็นสีขาวสว่าง และเปลวนอกเป็นสีน้ำเงินใส เปลวไฟชนิดนี้มีสภาพเป็นกลาง เปลวนอกจึงมีประโยชน์สำหรับการเชื่อม

2. เปลวลด : เมื่อเพิ่มอะซิทีลีนเข้ากับเปลวกลางเล็กน้อย เปลวไฟสีน้ำเงินจะปรากฏขึ้นระหว่างเปลวในและเปลวนอก เปลวไฟชนิดนี้เป็นเปลวที่มีอะซิทีลีนผสมอยู่มาก ซึ่งจะมีก๊าซอะซิทีลีนส่วนหนึ่งเหลือจากปฏิกิริยา จึงเป็นสาเหตุทำให้โลหะหลอมเหลวถูกเติมคาร์บอน

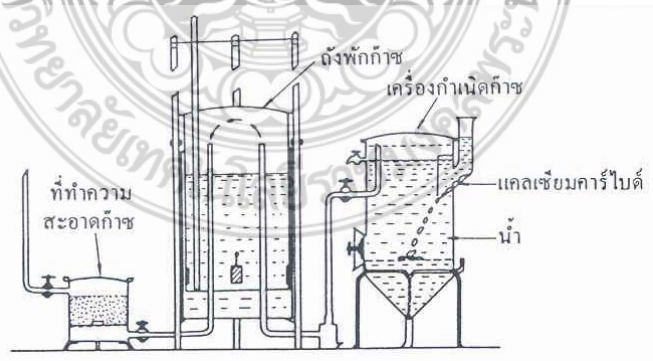
3. เปลวเพิ่ม : เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้ากับเปลวกลางเล็กน้อย เปลวไฟทั้งหมดจะหดสั้นลง และเปลวในจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง เมื่อใช้เปลวไฟชนิดนี้สำหรับการเชื่อมโลหะหลอมเหลวจะถูกลดทำปฏิกิริยาลดคาร์บอนหรือเพิ่มออกซิเจน แต่อย่างไรก็ดีเปลวไฟทั้งสามชนิดนี้ เปลวเพิ่มและเปลวลด เป็นเปลวไฟที่ไม่ใช้สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าทั่วไป

เปลวไฟกลางของออกซิเจน-อะซิทีลีน จะมีปฏิกิริยาเป็นสองชั้นดังสมการ



อุณหภูมิของเปลวไฟจะสูงถึงประมาณ 3,000 องศาเซลเซียสที่ปลายของเปลวใน และประมาณ 2,500 องศาเซลเซียส ที่ศูนย์กลางของเปลวนอก อุณหภูมินี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอาร์ค และการรวมความร้อนน้อยกว่า การรวมความร้อนที่เกิดจากอาร์คเช่นเดียวกัน ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเชื่อมต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้โลหะบิดงอได้มาก

เครื่องมือเชื่อม นอซเชิล และหัวเชื่อม (nozzle and torch) ก๊าซออกซิเจนและอะซิทีลีน เป็นอุปกรณ์และวัสดุที่ต้องใช้ในเชื่อมออกซิ-อะซิทีลีน หัวเชื่อมมีสองแบบคือ แบบความดันต่ำ (ใช้กับก๊าซอะซิทีลีนความดันไม่เกิน 700 มม.ปรอท) และแบบความดันปานกลาง (ใช้กับก๊าซอะซิทีลีนความดันตั้งแต่ 700 - 1,300 มม. ปรอท) หัวเชื่อมแบบความดันต่ำทำงานโดยใช้หลักเกณฑ์การพ่นออกซิเจนออกมาพร้อมกับดึงเอาอะซิทีลีนซึ่งมีความดันต่ำตามออกมาด้วย หัวเชื่อมแบบความดันต่ำจะใช้ก๊าซอะซิทีลีนซึ่งมีความดันต่ำจากเครื่องกำเนิดก๊าซอะซิทีลีนซึ่งบรรจุในขวด (cylinder) การเชื่อมเคยใช้ก๊าซอะซิทีลีนซึ่งบรรจุในขวดจะมีอันตรายเกิดได้น้อย คุณภาพของการเชื่อมสม่ำเสมอสำหรับการเชื่อมโดยใช้ก๊าซอะซิทีลีนจากเครื่องกำเนิดก๊าซ อาจเกิดอันตรายจากไฟกลับ (dangerous back) ขึ้นได้ หรือหลีกเลี่ยงการเกิดอันตรายเช่นนี้จะติดอุปกรณ์ ซึ่งเรียกว่า “ก๊อบคักไฟ” (ใช้น้ำ) ติดตั้งเข้ากับท่อส่งก๊าซ



รูป แสดงเครื่องกำเนิดอะซิทีลีนแบบคาร์ไบด์ตกลงในน้ำ

เครื่องกำเนิดก๊าซอะซิโตนชนิดความดันต่ำมีหลายแบบคือ ชนิดนำตกลงในคาร์ไบด์ ชนิดคาร์ไบด์ตกลงในน้ำ และชนิดจุ่มคาร์ไบด์ในน้ำ ซึ่งจะจุ่มตะกั่วบรจคาร์ไบด์ลงในน้ำ ตัวอย่างเครื่องกำเนิดก๊าซอะซิโตนชนิดคาร์ไบด์ตกลงในน้ำจะแสดงไว้ในรูป

อะซิโตนชนิดบรจในขวดมีความดันขนาดปานกลางดังได้กล่าวมาแล้วนั้น การบรจอะซิโตนลงในขวดจะละลายอะซิโตนด้วยอะซิโตน (acetone) ซึ่งถูกดูดซึมแทรกอยู่ในวัสดุที่สามารถดูดซึมของเหลวได้ดีไว้ในขวดหรือถังเหล็ก โดยวิธีนี้จะใช้ธรรมชาติของอะซิโตนซึ่งมีคุณสมบัติละลายอะซิโตนได้ดีเป็นตัวควบคุมอะซิโตนไว้ไม่ให้เกิดอันตราย เมื่ออะซิโตนอยู่ในสภาวะที่มีความดันสูง ๆ ความดันก๊าซอะซิโตนในขวดบรจปกติจะต่ำขนาด 15 กก./ ซม.2 ขวดบรจก๊าซจะทำด้วยเหล็กกล้าเพราะสะดวกสำหรับการใช้งานและการขนส่ง

ตาราง แสดงการเชื่อมด้วยอ็อกซี-อะซิโตนสำหรับการเชื่อมวัสดุต่าง ๆ

วัสดุ	ชนิดของเปลวไฟ	ฟลักซ์	ลวดเชื่อม
เหล็กกล้า คาร์บอน	กลาง	ไม่จำเป็นต้องใช้	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ
เหล็กหล่อสีเทา	กลาง	จำเป็นต้องใช้	เหล็กหล่อสีเทา
เหล็กหล่อมาเดียเปิล	อ็อกซีไคซิงอ่อน ๆ	จำเป็นต้องใช้	บรอนซ์
นิกเกิล	อ็อกซีไคซิงอ่อน ๆ	จำเป็นต้องใช้	บรอนซ์
โลหะเจือนิกเกิล - ทองแดง	คาร์บิวไรซิง	ไม่จำเป็นต้องใช้	นิกเกิล
ทองแดง	กลางหรือคาร์บิวไรซิงอ่อน ๆ	ไม่จำเป็นต้องใช้	โลหะโมเนล
บรอนซ์	กลาง	ไม่จำเป็นต้องใช้	ทองแดง
ทองเหลือง	กลางหรืออ็อกซีไคซิงอ่อน ๆ	จำเป็นต้องใช้	บรอนซ์
	อ็อกซีไคซิง	จำเป็นต้องใช้	ทองเหลือง

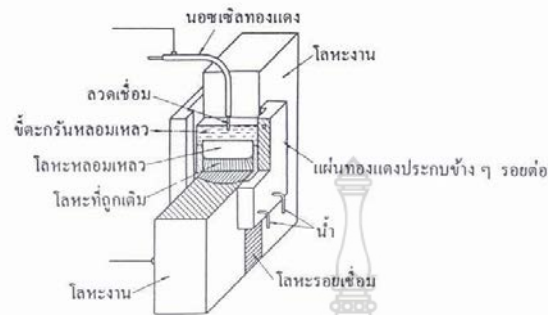
การเชื่อมอ็อกซี-อะซิโตน จะใช้สำหรับการเชื่อมโลหะชนิดต่าง ๆ ในตาราง การเชื่อมอ็อกซี-อะซิโตนบางครั้งจะใช้ฟลักซ์เพื่อช่วยให้คุณสมบัติของโลหะรอยเชื่อมดีขึ้น ทำให้โลหะหลอมเหลวมีคุณสมบัติไหลได้ง่ายดีขึ้น เพื่อป้องกันก๊าซเข้ามารวมตัวของอ็อกซิเจนกับโลหะหลอมเหลว ชนิดของฟลักซ์ที่ใช้จะเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะที่เชื่อม ฟลักซ์ส่วนใหญ่ที่ใช้จะมีส่วนผสมของโบแรก (borax) ผงแก้ว และแก้วเหลว หรือส่วนผสมของกรดโบริก (boric acid) โบแรกและโซเดียมฟอสเฟต (phosphate)

การเชื่อมแบบอื่น ๆ

การเชื่อมแบบอีเล็กโตรสแลค (Electroslag welding)

การเชื่อมแบบอีเล็กโตรสแลคเป็นวิธีการเชื่อมซึ่งใช้ความร้อน ซึ่งกำเนิดจากความต้านทานกระแสในขี้ตะกั่ว (สแลค) หลอมเหลว และจะป้อนลวดเชื่อมติดต่อกันลงในขี้ตะกั่วหลอมเหลว ซึ่งจะทำให้ลวดเชื่อมและโลหะงานหลอมละลายเข้าด้วยกันโดยความร้อน การเชื่อมนี้จะใช้ทองแดงเป็นแผ่นประกบข้าง (copper shoes) รอยต่อของโลหะทั้งสองด้านเพื่อป้องกันการไหลของขี้ตะกั่วและโลหะ

หลอมเหลวออกจากแนวเชื่อม แผ่นประกบข้างรอยต่อนี้จะหล่อเย็นด้วยน้ำและจะถูกเลื่อนขึ้นมาในขณะเชื่อมในกรณีนี้แนวเชื่อมมีขนาดยาว หลักการของการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค จะแสดงไว้ในรูป

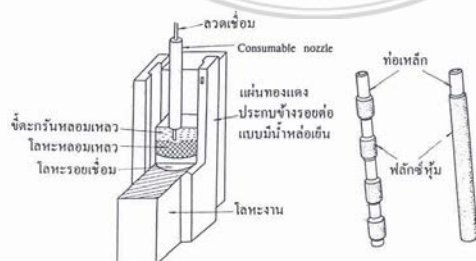


รูป แสดงหลักการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค

การเชื่อมแบบนี้ใช้เฉพาะการเชื่อมในแนวตั้ง รอยต่อขนาดใหญ่ ตัวอย่าง เช่น แผ่นเหล็กกล้าหนา 300 มม. เมื่อเชื่อมโดยการเชื่อมแบบนี้จะสามารถเชื่อมเสร็จด้วยรอยเชื่อมเพียงชั้นเดียว ซึ่งจะใช้ลวดเชื่อม 3 เส้นป้อนพร้อมกัน การเชื่อมแนวตั้งของการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลคมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเชื่อมในแนวราบของการเชื่อมแบบอาร์คใต้ฟลักซ์ เมื่อเชื่อมโลหะงานหนา ๆ ดังนั้นการเชื่อมเดินสมุทร ซึ่งเป็นงานที่ใช้เหล็กแผ่นหนา ๆ การเตรียมขอบรอยต่อของโลหะงานของการเชื่อมแบบนี้ไม่มีความยุ่งยาก แต่จะเตรียมแบบง่าย ๆ เป็นร่องแบบตัว 1 ก็เพียงพอ นี่เป็นข้อดีอีกข้อหนึ่งของการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค ซึ่งเป็นวิธีการเหมาะสำหรับการเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าที่มีความหนามาก ๆ รอยต่อโลหะงานควรมีช่องว่างไม่ต่ำกว่า 20-35 มม. ช่องว่างนี้จะใหญ่เกินไปสำหรับแผ่นเหล็กกล้าที่มีความหนาไม่มากพอ

การเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค เป็นการเชื่อมที่ทำให้ขนาดเกรนของโลหะรอยเชื่อมและโลหะงานบริเวณที่มีผลกระทบจากความร้อนมีขนาดใหญ่หรือเป็นเกรนหยาบ และยังทำให้ความเหนียวของโลหะลดลงอีกด้วย เมื่อต้องการให้โลหะบริเวณแนวเชื่อมมีความเหนียวตามปกติจะต้องใช้วิธีการกระทำด้วยความร้อนโดยวิธีนอร์มาไลซิง (normalizing) มากกระทำกับโลหะแนวเชื่อมนั้น

การเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค การเชื่อมจะดีขึ้นเมื่อนำนอชเช็ท (consumable nozzle) ชนิดสั้นเปลี่ยนมาใช้ นอชเช็ทชนิดนี้จะช่วยให้ปฏิบัติการเชื่อมได้ง่ายขึ้น เพราะนอชเช็ทซึ่งเคลือบไว้ด้วยฟลักซ์จะถูก



รูป แสดงหลักการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค

ใส่ลงไปไนซีตะกัณหอมเหลว เพื่อให้ลวดเชื่อมป้อนติดต่อกันผ่านลงในซีตะกัณหอมเหลว ดังแสดงในรูป หน้าที่ของนอชเชิลชนิดลื่นเปลี่ยนทำหน้าที่เหมือนกันกับการป้อนฟลักซ์ แล้วหลอมละลายกลายเป็นซีตะกัณหอมเหลวและยังทำหน้าที่เป็นท่อนำลวดเชื่อมกับเป็นตัวชาร์จ (charger) กระไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมอีกด้วย

นอชเชิลชนิดลื่นเปลี่ยนทำขึ้นโดยใช้ฟลักซ์เคลือบท่อเหล็กหนา นอชเชิลที่ใช้จะมีขนาดผ่าศูนย์กลาง 8 ถึง 12 มม. และยาว 500 ถึง 1,200 มม. การเลือกขนาดผ่าศูนย์กลางนอชเชิลจะเลือกขนาดให้สัมพันธ์กับความหนาของแผ่นโลหะงาน ซึ่งนอชเชิลจะมีขนาดโตถึง 50 มม. ความยาวของรอยเชื่อมตามปกติจะจำกัดขนาดได้ยาวไม่เกินความยาวของนอชเชิลที่ใช้ เพื่อให้สามารถเชื่อมรอยเชื่อมได้ยาวมากขึ้นจะใช้วิธีต่อความยาวนอชเชิลเพิ่มขึ้นเป็นสองหรือสามช่วง ในกรณีนี้จะเพิ่มกระแสเชื่อมที่จุดกึ่งกลางของนอชเชิลเพื่อหลีกเลี่ยงการเป็นฉนวนที่ส่วนกลาง ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่เกิดความร้อนจากความต้านทานของกระแส

การเชื่อมอเล็กโตรก๊าซ (Electro gas welding)

การเชื่อมแบบอเล็กโตรก๊าซ จะใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แทนฟลักซ์ ซึ่งใช้ในการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค กลไกการเชื่อมแบบนี้จะคล้ายกับการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค หน้าที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือปกคลุมอาร์คซึ่งเกิดขึ้นระหว่างแอ่งโลหะหลอมเหลวกับปลายลวดเชื่อมซึ่งถูกป้อนติดต่อกัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกป้อนผ่านรูของทองแดงแผ่นประกบข้างรอยต่อ การเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลคปกติจะใช้เป็นวิธีการเชื่อมเหล็กแผ่นได้หนาถึง 30 มม.

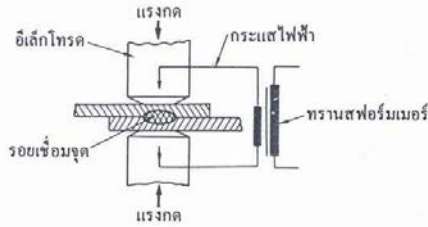
ข้อดีของการเชื่อมแบบนี้คือ มีประสิทธิภาพการเชื่อมสูงสามารถเชื่อมโลหะแผ่นหนาด้วยรอยเชื่อมเพียงชั้นเดียว และอื่น ๆ ซึ่งเหมือนกับข้อดีของการเชื่อมแบบอเล็กโตรสแลค จากหลักการเชื่อมซึ่งแตกต่างกันระหว่างอเล็กโตรสแก๊สกับอเล็กโตรสแลค การเชื่อมแต่ละแบบมีข้อดีซึ่งเหมือนกันดังนี้

- 1) สามารถลดขนาดช่องว่างของรอยต่อลงได้ ซึ่งมีผลในทางเพิ่มอัตราการผลิต และผลต่อเนื่องคือประหยัดพลังงานความร้อน
- 2) การสัมผัสของทองแดงแผ่นประกบข้างรอยต่อไม่เพียงพอ นั้นจะไม่มีผลกับคุณสมบัติเชื่อมได้ของโลหะงาน โดยสาเหตุนี้ถ้าแผ่นประกบข้างรอยต่อจัดไว้ไม่ได้แนวจะไม่เกิดผลเสียกับการเชื่อม
- 3) สามารถใช้เชื่อมเหล็กแผ่นบางได้
- 4) รอยเชื่อมลึกในรอยเชื่อมจะตื้นกว่าที่จุดเริ่มต้นแนวเชื่อม

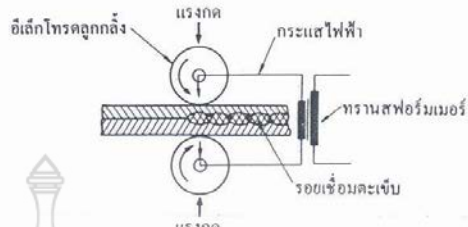
การเชื่อมแบบความต้านทาน (Resistance welding)

การเชื่อมแบบความต้านทานเป็นวิธีซึ่งใช้แรงกดดันกับพื้นผิวเหล็กแผ่น ซึ่งสัมผัสเมื่อพื้นผิวงานนั้นถูกทำให้ร้อนโดยความต้านทานของกระแส การเชื่อมแบบความต้านทานแบ่งออกเป็นหมู่ใหญ่ ๆ ได้

สองหมู่ คือการเชื่อมแบบความต้านทานบนรอยต่อเกย (lap resistance welding) และการเชื่อมแบบความต้านทานบนรอยต่อชน (butt resistance welding)



รูป แสดงการเชื่อมจุด

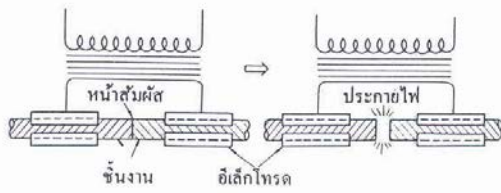


รูป แสดงการเชื่อมตะเข็บ

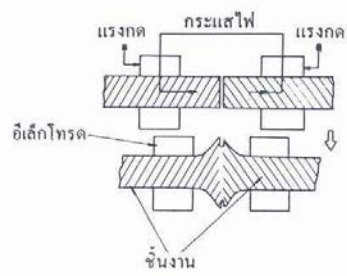
การเชื่อมแบบต้านทานบนรอยต่อเกย ส่วนใหญ่จะใช้เป็นวิธีเชื่อมโลหะแผ่นบาง ซึ่งจะแบ่งออกเป็น การเชื่อมจุด (spot welding) และการเชื่อมแนวตะเข็บ (seam welding) หลักการเชื่อมจุดจะแสดงไว้ในรูป การเชื่อมแบบนี้แผ่นโลหะสองแผ่นซึ่งจัดให้เกยทับกันจะถูกกดด้วยคู่ของแท่งอเล็กโทรดทองแดงเจือ มีกระแสสูงไหลผ่านด้วยช่วงเวลาอันสั้น เมื่อกระแสไหลผ่านจากอเล็กโทรดโลหะงานไปยังอเล็กโทรดอีกตัวหนึ่ง จะมีความต้านทานของกระแสขึ้นกับโลหะงานเกิดเป็นความร้อนตรงจุดที่ผิวหน้าของอเล็กโทรดสัมผัส ผิวหน้าโลหะงานจะเริ่มตันหลอมเหลวและเมื่อมีแรงกดมากจะทำกับพื้นผิวงาน โลหะงานจะเชื่อมต่อกันเป็นจุด ความต้านทานกระแสก็จะเกิดระหว่างอเล็กโทรดกับโลหะงานเช่นเดียวกัน แต่จะมีอุณหภูมิไม่สูงเนื่องจากอเล็กโทรดมีน้ำหล่อเย็นไว้

การเชื่อมแนวตะเข็บ จะใช้ลูกกลิ้งทองแดงเจือสองลูกทำหน้าที่เป็นอเล็กโทรดและเป็นล้อกดแผ่นโลหะงานให้เชื่อมติดกัน ดังแสดงในรูป ขณะที่มีการไหลและแรงกดกับแผ่นโลหะงานให้เชื่อมติดกัน การเชื่อมวิธีนี้ใช้กับการเชื่อมงานซึ่งต้องการไม่ให้ตะเข็บรอยต่อรั่วหรือซึม หลักการเชื่อมพื้นฐานจะเหมือนกับการเชื่อมจุด แต่จะใช้กระแสสูงกว่า 1.5 – 2 เท่าของขนาดกระแสที่ใช้กับการเชื่อมจุด และใช้แรงกดมากกว่าประมาณ 1.2 – 1.6 เท่า ตัวอย่างเช่นเหล็กกล้าอะลูมิเนียมแผ่นหนา 0.8 มม. ใช้กระแส 1,500 แอมแปร์และแรงกด 300 กก.

การเชื่อมแบบความต้านทานบนรอยต่อชน เป็นวิธีการเชื่อมสำหรับงานเชื่อมแท่งโลหะรูปต่าง ๆ ท่อ หรือแผ่นโลหะ ในลักษณะต่อเพิ่มความยาวโดยให้กระแสและแรงกดกับงานตามแนวยาวของงานจนกระทั่งรอยต่อหลอมเหลวเชื่อมต่อกันโดยความร้อน เนื่องจากความต้านทานกระแส การเชื่อมวิธีนี้แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ การเชื่อมแบบ flush butt welding และแบบ upset welding การเชื่อมวิธีแรก กระแสไฟเชื่อมจะทำให้เกิดการสปาร์ค (spark) ขึ้นที่ปลายชิ้นงานที่นำมาต่อกัน จะกระทั่งร้อนแล้วจึงใช้แรงกดเพื่อให้โลหะเชื่อมต่อกัน เมื่อกระแสไหลผ่านรอยต่อซึ่งเป็นส่วนปลายของชิ้นงานซึ่งสัมผัสกันเพียงเบา ๆ โลหะจะร้อนจัดและในขั้นสุดท้ายก็จะเกิดเป็นแสงสว่างของสปาร์คขึ้น เมื่อใช้แรงกดดันชิ้นงานเข้าหากันปลายชิ้นงานซึ่งร้อนจัดอยู่แล้วจะเชื่อมต่อกัน



รูป แสดงการเชื่อมต่อนแบบเฟรช

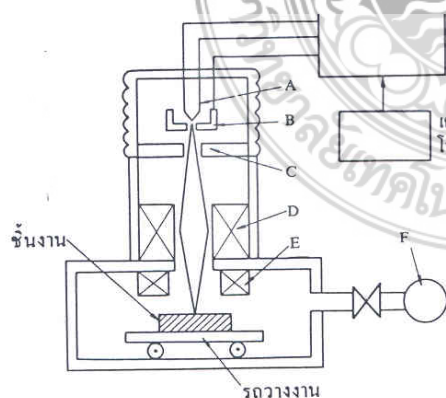


รูป แสดงรอยต่อชนแบบอัฟเซท

การเชื่อมวิธี Upset ถูกจัดอยู่ในวิธีการเชื่อมแบบต่อนเช่นเดียวกัน การเชื่อมวิธีนี้โลหะงานจะถูกเชื่อมโดยแรงกดสูง ดังแสดงในรูป หลังจากพื้นผิวงานส่วนที่สัมผัสกันถูกทำให้ร้อนขึ้นเนื่องจากความต้านทานกระแส โลหะงานจะถูกกดด้วยแรงกดสูงตามแนวยก การเชื่อมวิธี Upset นี้ข้อดีคือใช้เป็นรอยต่อจะต้องตกแต่งและทำความสะอาด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสารเจือปนที่ไม่ต้องการ เช่น สารออกไซด์เข้าไปอยู่ในเนื้อโลหะรอยเชื่อม การเชื่อมวิธีนี้ความร้อนจะเกิดขึ้นช้าเสียเวลาเชื่อมมากกว่าการเชื่อมแบบ Flush butt ซึ่งมีผลบริเวณรอยเชื่อมมีขนาดใหญ่และเป็นการเชื่อมโลหะมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ

การเชื่อมแบบอิเล็กตรอนบีม (Electron beam welding)

เทคนิคการเชื่อมแบบใหม่ ๆ ซึ่งได้รับการพัฒนาให้สามารถเชื่อมโลหะได้ผลดีเป็นที่น่าสนใจมาก คือการเชื่อมแบบอิเล็กตรอนบีม การเชื่อมแบบพลาสมาอาร์ค (plasma arc welding) และการเชื่อมด้วยแสงเลเซอร์ (laser welding) ถึงแม้ว่าการเชื่อมแบบใหม่เหล่านี้ยังไม่แพร่หลาย แต่จะมีใช้เฉพาะการเชื่อมงานบางด้านเท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นวิธีการเชื่อมสำหรับอนาคตอยู่ แต่วิธีการเชื่อมแบบอิเล็กตรอนบีมวิธีการมีเหมาะที่สุดสำหรับการเชื่อมที่พิเศษที่โลหะมีคุณสมบัติไวต่อการทำปฏิกิริยามีจุดหลอมตัวสูงและเป็นโลหะต่างชนิดกัน



แผ่นจ่ายกระแสสำหรับ
ฟิลาเมนและกริด
เครื่องจ่ายกระแส
โวลเทจสูง

- A : ฟิลา เมนกำเนิดอิเล็กตรอน
- B : กริดควบคุมความหนาแน่นของอิเล็กตรอน
- C : อาโนดเร่งอิเล็กตรอน
- D : อิเล็กโตรแมกเนติกเลนส์ สำหรับรวมลำอิเล็กตรอน
- E : คอร์รี่สำหรับหันเหเปลี่ยนทิศทางอิเล็กตรอน
- F : บีมสำหรับดูดอากาศ สำหรับการเชื่อมในสุญญากาศ เพื่อหลีกเลี่ยงการดับลำอิเล็กตรอน

รูป แสดงหลักการเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอน

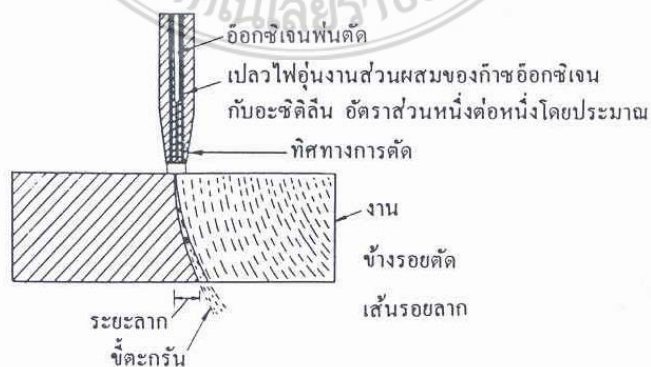
การเชื่อมแบบอิเล็กตรอนบีมเป็นการเชื่อมซึ่งเร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงพุ่งลงสู่โลหะงานที่จะเชื่อม ในขอบเขตของสุญญากาศ โลหะจะถูกเชื่อมโดยความร้อนที่เกิดจากอิเล็กตรอนพุ่งชนโลหะงาน การกำเนิดอิเล็กตรอนทำโดยจุดไส้ (filament) ทั้งสแตนในช่องที่เป็นสุญญากาศอย่างสมบูรณ์ (ประมาณ 10^{-5} มม. ปรอท) อิเล็กตรอนที่เกิดนั้นจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงซึ่งกระแสที่มีแรงเคลื่อนสูงแล้วจึงถูกบังคับลำให้รวมกลุ่มเป็นลำอิเล็กตรอนโดยอิเล็กโตรแมคเนติก เลนซ์ (electromagnetic lense) ลำอิเล็กตรอนจะมีขนาดผ่าศูนย์กลางเพียง 2-3 ไมครอน (micron) ดังแสดงในรูปที่ 2.34 อิเล็กตรอนที่ถูกบังคับรวมกลุ่มเป็นลำจะถูกขับให้พุ่งชนโลหะงานที่เชื่อม เนื่องจากการเชื่อมที่มีพลังงานสูงและรุนแรง การเชื่อมลึกในรอยเชื่อมสูง โดยเหตุนี้จึงสามารถเชื่อมโลหะหนา ๆ ได้โดยการเชื่อมเพียงครั้งเดียว และสามารถเชื่อมโลหะงานที่มีจุดหลอมตัวสูงได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากการเชื่อมซึ่งกระทำใน 챔เบอร์ที่เป็นสุญญากาศอย่างสมบูรณ์ จึงสามารถเชื่อมโลหะที่มีคุณสมบัติไวต่อการทำปฏิกิริยา

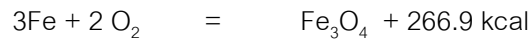
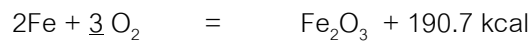
ข้อเสียของการเชื่อมแบบนี้ คือต้องเชื่อมใน 챔เบอร์สุญญากาศ โดยเหตุนี้การเชื่อมแบบนี้จึงใช้เฉพาะการเชื่อมโลหะพิเศษ ชิ้นส่วนของเครื่องจักร หรือโครงสร้างขนาดเล็ก เพื่อทำให้การเชื่อมแบบอิเล็กตรอนบีมเป็นวิธีการเชื่อมใช้ได้แพร่หลายมากขึ้น ถ้าสามารถเชื่อมได้ในบรรยากาศปกติ

วิธีการตัดโลหะ

การตัดโลหะด้วยก๊าซ (Gas cutting)

ในตาราง แสดงวิธีการตัดเหล็กกล้าแบบต่าง ๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจากวิธีการตัดโลหะที่มี การตัดโลหะด้วยก๊าซเป็นวิธีการตัดที่ใช้มากที่สุด การตัดโลหะวิธีนี้จะใช้ความร้อนจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างออกซิเจนกับเหล็กกล้า ณ จุดเริ่มต้นการตัดบนแผ่นโลหะงาน จะต้องอุ่นให้ร้อนด้วยเปลวไฟ ออกซิ-อะซิตีลีน จนกระทั่งโลหะที่จุดไว้ร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส แล้วจึงเริ่มพ่นออกซิเจนความดันสูงลงไป ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับเหล็กที่จุดนั้น และจะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ขึ้นอย่างรุนแรงเกิดเป็นเฟอรัสออกไซด์ เนื่องจากจุดหลอมตัวของเหล็กออกไซด์มีอุณหภูมิต่ำจะดูดก๊าซออกซิเจนที่พ่นลงไปเป่าเหล็กออกไซด์ออกไปจากโลหะงาน โลหะงานจะขาดออกจากกัน ปฏิกิริยารวมตัวของออกซิเจนกับเหล็กกล้า เมื่อทำการตัดจะมีปฏิกิริยาเคมีดังสมการต่อไปนี้





รูป แสดงภาคตัดตามแนวยางของการตัดด้วยอ็อกซิเจน

จากสมการที่แสดงนี้จะเห็นว่าเป็นปฏิกิริยาซึ่งทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น จากปฏิกิริยานี้จะทำให้สามารถดำเนินการตัดได้ติดต่อกันเฉพาะเมื่อมีอ็อกซิเจนพุ่งลงไปเท่านั้น การปฏิบัติการตัดจะใช้เปลวไฟอุณหภูมิสูงอยู่เสมอ ดังแสดงในรูป จากรูปจะแสดงให้เห็นว่าอ็อกซิเจนความดันสูงจะดูดพุ่งออกจากรูก๊าซที่ศูนย์กลางของนอชเชิลและเปลวไฟอ็อกซิ-อซิตีลีน สำหรับอุณหภูมิ จะมียูรอบ ๆ รูก๊าซที่จุดศูนย์กลางของนอชเชิล

รอยตัดที่ดีหมายถึง

- 1) รอยลาก (drag) มีขนาดเล็ก
- 2) ผิวหน้าของรอยตัดเรียบ
- 3) เคาะซี่ตะกรันออกจากรอยตัดได้ง่าย
- 4) ขอบรอยตัดด้านบนมีลักษณะโค้งมน

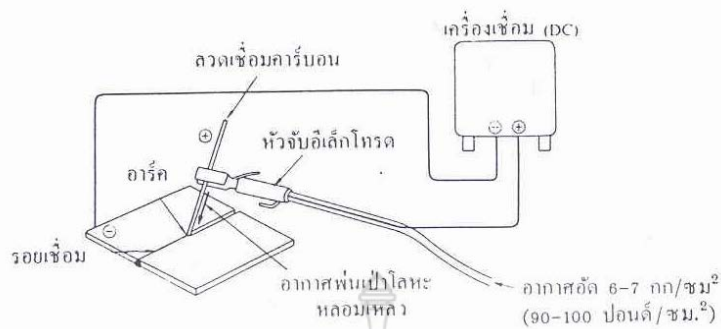
สมาคมการเชื่อมญี่ปุ่น (Japan welding Association) ได้กำหนดบรรทัดฐานคุณภาพผิวหน้าของรอยตัดด้วยก๊าซไว้ในโค้ด WES-2801 สำหรับการจำแนกประเภทคุณภาพของรอยตัด

คุณภาพหรือคุณสมบัติของก๊าซอ็อกซิเจน และเปลวไฟอุณหภูมิสูง คุณลักษณะของเครื่องมือตัดก๊าซซึ่งรวมถึงชนิดของนอชเชิล รูปร่างและวัสดุของนอชเชิล และสภาวะการตัดซึ่งรวมถึงอัตราการตัด และระยะความสูงของหัวนอชเชิลเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องควบคุมเพื่อให้รอยตัดได้มาตรฐานตรงตามโค้ด WES-2801

หัวตัด (cutting torch) จะจำแนกประเภทออกเป็นชนิดความดันต่ำ และความดันปานกลาง เช่นเดียวกับชนิดของหัวเชื่อม หัวตัดแต่ละชนิดจะเลือกใช้ตามสภาวะของการตัด อุปกรณ์การตัดก๊าซบางแบบจะทำงานโดยระบบอัตโนมัติ การติดตั้งหัวตัดไว้กับคานเลื่อนซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์

การเจาะร่องด้วยก๊าซและอาร์ค-แอร์ (Gas gouging and arc air gouging)

การเจาะร่องด้วยก๊าซ จัดได้ว่าเป็นวิธีการตกแต่งงานด้วยเครื่องจักรกล การเจาะร่องด้วยก๊าซถูกนำมาใช้แพร่หลายเช่นเดียวกับการเชื่อม การเจาะร่องจะแบ่งออกเป็นสองวิธีคือใช้ก๊าซกับใช้อาร์ค-แอร์ การเจาะร่องด้วยก๊าซ จะใช้นอชเชิลซึ่งทำมุมเอียง 25-35 องศา ยันติดกับพื้นผิวงาน โลหะงานจะถูกเจาะเป็นร่องด้วยอ็อกซิเจนความดันสูง พร้อมกับจะเป่าซี่ตะกรันให้หนีออกไป การเจาะร่องวิธีนี้ใช้สำหรับการเจาะหลังรอยเชื่อม หรือเจาะรอยเชื่อมที่มีเชื่อมที่มีขอบกร่องออกไป



รูป แสดงการเชื่อมแบบอาร์คแอร์

การเชื่อมแบบอาร์ค-แอร์ เป็นวิธีเชื่อมอีกแบบหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดอาร์คระหว่างแท่งอิเล็กโทรดคาร์บอนกับโลหะงาน ดังแสดงในรูปที่ 6.36 แล้วใช้อากาศอัด (compress air) พ่นเป่าที่ตะแกรงออกไปจากแอ่งโลหะหลอมเหลว กระแสไฟฟ้าสำหรับการอาร์คปกติที่ใช้คือ กระแสไฟฟ้าสลับต่อวงจรถูกกลับขั้ว การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเชื่อมด้วยก๊าซกับอาร์ค-แอร์ การเชื่อมแบบอาร์ค-แอร์ จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าประมาณ 2 ถึง 3 เท่า และโลหะบริเวณที่มีผลกระทบจากความร้อนจะมีขนาดแคบกว่า จึงทำให้มีข้อบกพร่องเกี่ยวกับคุณภาพของโลหะงานน้อย ปัจจุบันการเชื่อมแบบอาร์ค-แอร์ ถูกมาใช้แพร่หลายมากกว่า

กระบวนการเชื่อมแบบไม่หลอมละลาย

กระบวนการเชื่อมแบบไม่หลอมละลายสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การเชื่อมแบบใช้แรงกดให้ชิ้นงานติดกันและการเชื่อมโดยให้ความร้อนแล้วใช้แรงกดให้ชิ้นงานติดกัน โดยแยกเป็นชนิดดังต่อไปนี้

1. การเชื่อมด้วยการตี (Forge Welding)

การเชื่อมด้วยการตี (Forge Welding) เป็นการเชื่อมแบบดั้งเดิมกระทำมานานแล้ววิธีการทำคือการนำชิ้นงานมาให้ความร้อนแล้วตีให้ติดกันด้วยค้อน การเชื่อมวิธีนี้ต้องใช้ความชำนาญและฝีมือของผู้ปฏิบัติต้องมีประสบการณ์

2. การเชื่อมด้วยความเย็น (Cold Welding)

การเชื่อมด้วยความเย็น (Cold Welding) เป็นการเชื่อมแบบที่ใช้แรงกดให้ติดชิ้นงานกันในสภาวะอุณหภูมิห้องการเชื่อมแบบนี้นิยมใช้เชื่อมหรือต่อชิ้นงานประเภท อะลูมิเนียม ทองแดง และทองเหลือง เป็นต้น

3. การเชื่อมด้วยความร้อน (Hot Welding)

การเชื่อมด้วยความร้อน (Hot Welding) เป็นการเชื่อมแบบให้ความร้อนกับชิ้นงานและใช้แรงกดให้ติดชิ้นงานกันสามารถทำได้ในสภาวะอุณหภูมิห้องหรือการควบคุมอุณหภูมิให้สูงจนกว่าก็ได้

4. การเชื่อมแบบฟริกชัน (Friction Welding)

การเชื่อมแบบฟริกชัน (Friction Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมแบบการนำเอาชิ้นงานสองชิ้นมาเสียดสีกันให้ชิ้นงานเกิดความร้อนระหว่างชิ้นงานเพียงพอที่จะทำให้บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานทั้งสองชิ้นอ่อนตัวและใช้แรงกดให้ติดกัน

5. การเชื่อมแบบเอกโพชั่น (Explosion Welding)

การเชื่อมแบบเอกโพชั่น (Explosion Welding) เป็นการเชื่อมที่ใช้เวลาน้อยมาก กระบวนการเชื่อมใช้หลักการของการระเบิดให้ชิ้นงานสองชิ้นประสานติดกัน ส่วนใหญ่จะเป็นยางหรือพลาสติก โดยกระบวนการไม่ต้องใช้ความร้อน

6. การเชื่อมแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Welding)

การเชื่อมแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Welding) การเชื่อมวิธีนี้มีองค์ประกอบหลักอยู่สองส่วนคือ การจับยึดของชิ้นงานให้ติดกันด้วยแรงเพียงเล็กน้อย การใช้ระบบคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงประมาณ 20 – 75 KHz แอมปริจูด 0.002- 0.013 มม. จนชิ้นงานได้รับความเค้นเฉือนจนเกิดความร้อน ส่วนใหญ่กระบวนการเชื่อมแบบนี้จะนิยมการกับวัสดุอ่อนเช่น อะลูมิเนียม ทองแดง และทองเหลือง เป็นต้น

7. การเชื่อมแบบจุด (Resistance Welding)

การเชื่อมแบบจุด (Resistance Welding) เป็นการเชื่อมที่นิยมมากในอุตสาหกรรมรถยนต์และการทำเฟอร์นิเจอร์ การเชื่อมจุดมีหลักการอยู่ว่าต้องเชื่อมแบบต่อเกยมีความหนาไม่เกิน 3 มม. กระบวนการเชื่อมต้องอาศัยแท่งอิเล็กโทรดที่เป็นทองแดงมีรูปร่างเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-12 มม. รอยเชื่อมเป็นวงกลมรอยเชื่อมจะลึกหรือไม่ขึ้นอยู่กับระบบนิวแมติกส์ที่เป็นตัวกด

8. การเชื่อมแบบลูกกลิ้ง (Roll Welding)

การเชื่อมแบบลูกกลิ้ง (Roll Welding) การเชื่อมแบบนี้ใช้หลักการรีดผสมกับแรงกดและให้ความร้อนต่อชิ้นงาน โดยชิ้นงานจะอยู่ตรงกลางระหว่างลูกกลิ้งสองลูก การเชื่อมแบบนี้เหมาะกับงานที่มีความหนาน้อยๆ ตั้งแต่ 0.1-5 มม.

การต่อยึดทางกลและการบัดกรี

การต่อยึดทางกลเป็นการต่อชิ้นงานสองชิ้นให้ติดกันแบบไม่ถาวรการต่อแบ่งออกเป็น 6 วิธีคือ

1. การต่อแบบใช้สกรูหรือเกลียวเป็นตัวยึดในรูปแบบต่างๆ เช่น สกรูหัวฝัง สกรูล้อย ผ่านชิ้นทั้งสองชิ้นใช้แป้นเกลียวขันด้านล่าง
2. การต่อแบบหมุดย้ำ เป็นวิธีการต่อแบบดั้งเดิมเช่น สะพานพระรามหก สะพานกรุงเทพ เป็นต้น

3. หมุดตาไก่ (Eyelets)เป็นการยึดแบบถาวรใช้ยึดท่อที่มีผนังบาง เช่น การประกอบรถยนต์ เครื่องประดับ
4. การยึดด้วยลวด ส่วนใหญ่จะใช้ได้กับโลหะแผ่นบางๆและกระดาษ เช่น กล่องกระดาษ
5. คอตเตอร์พิน (Cotter Pint) เป็นการต่อด้วยลวดครึ่งวงกลมงอเข้าหากัน
6. การยึดด้วยแหวนล๊อค การยึดแบบนี้จะเป็นการต่อระบบแบบสวม

การบัดกรี (Brazing)

การบัดกรีแข็งเป็นวิธีการประสานโลหะโดยใช้โลหะบัดกรีแข็ง (brazing-filler-metal) หลอมเหลวฉาบหน้าผิวโลหะงานส่วนที่เป็นรอยต่อ โลหะบัดกรีเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะงาน โลหะบัดกรีมีสองชนิด คือ โลหะบัดกร้อ่อน (solder) มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียสและโลหะบัดกรีแข็ง (hard solder) มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 450 องศาเซลเซียส การบัดกรีแข็งซึ่งใช้โลหะบัดกรีเป็นวัสดุประสานจะเรียกการบัดกรีแข็งชนิดนี้ว่าการบัดกรีหรือการบัดกร้อ่อน (soldering) รอยต่อสำหรับการบัดกรีแข็งควรมีระยะเว้นน้อยที่สุด AWS แนะนำระยะเว้นรอยต่อไว้ควรเป็นขนาด 5/100 ถึง 13/100

โลหะบัดกรีควรมีคุณสมบัติไหลได้ดี เพื่อให้ไหลซึมเข้าระยะเว้นรอยต่อได้โดยการดึงดูของอุณหภูมิ นี่คือนคุณสมบัติเบื้องต้นที่โลหะบัดกรีควรมี นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวแล้วโลหะบัดกรีต้องมีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพตามกำหนด โลหะบัดกรีแข็งชนิดที่ใช้ทั่ว ๆ ไปคือ โลหะเงินทองแดง ทองเหลืองและทองแดง นอกจากนี้จะใช้โลหะเงินตะกั่ว-เงิน บิสมัท-ดีบุก และบิสมัท-ดีบุก-สังกะสี เป็นโลหะอ่อน การบัดกรีแข็งมีวิธีการแตกต่างกัน 7 วิธีคือ

- 1) การบัดกรีแข็งโดยอาร์ค (arc brazing) เป็นวิธีบัดกรีแข็งโดยใช้ความร้อนจากการอาร์คด้วยแท่งคาร์บอน หรือการเชื่อมแบบทิก
- 2) การบัดกรีแข็งโดยเปลวไฟก๊าซ (gas brazing) เป็นวิธีบัดกรีแข็งโดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟก๊าซ
- 3) การบัดกรีด้วยหัวแร่ (iron soldering) เป็นวิธีบัดกรีแข็งโดยใช้เตาอบให้ความร้อนกับโลหะงาน
- 4) การบัดกรีแข็งด้วยเตา (furnace brazing) เป็นวิธีบัดกรีแข็งโดยใช้เตาอบให้ความร้อนกับโลหะงาน
- 5) การบัดกรีแข็งด้วยกระแสเหนี่ยวนำ (induction brazing) เป็นวิธีการบัดกรีแข็งโดยใช้ความร้อนจากกระแสเหนี่ยวนำความถี่สูง (high frequency induction)
- 6) การบัดกรีแข็งด้วยความต้านทาน (resistance brazing) เป็นวิธีการบัดกรีแข็งโดยใช้ความร้อนจากความต้านทานกระแส (electric resistance)

7) การบัดกรีแข็งโดยวิธีจุ่ม (dip brazing) เป็นวิธีการบัดกรีแข็งโดยจุ่มชิ้นงานลงในอ่างหลอมเหลวโลหะบัดกรี

การบัดกร้อ่อนจะใช้ฟลักซ์หรือน้ำประสาน หรือควบคุมบรรยากาศ เพื่อให้คุณภาพของรอยบัดกรีดีขึ้น การบัดกร้อ่อนตัวประสานที่จะเป็นดีบุกผสมตะกั่ว ดีบุกผสมทองแดง การบัดกร้อ่อนเป็นการบัดกรีด้วยมือใช้หัวแร้ง ที่ทำจากทองแดง เริ่มจากการเผาหัวแร้งให้ร้อนแดงก่อนแล้วนำไปหลอมละลายตัวประสาน แล้วลำเลียงไปยังรอยต่อที่ต้องการบัดกรี แต่ในปัจจุบันการบัดกร้อ่อนง่ายขึ้นมากแล้วเพราะมี **หัวแร้งไฟฟ้า** (Soldering Gun) การบัดกร้อ่อนจะมีช่องว่างระหว่างชิ้นงานที่ตัวประสานจะแทรกประมาณ

0.076- 0.127 มม. การบัดกร้อ่อนส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า งานโลหะแผ่น เป็นต้น การบัดกร้อ่อนมีข้อดี-ข้อเสีย ดังต่อไปนี้

ข้อดี ของการบัดกรี

1. การแก้ไขและซ่อมบำรุงได้ง่าย
2. รอยต่อป้องกันแสงและอากาศได้ดี
3. สามารถเลือกใช้ความร้อนได้หลายแบบ
4. รอยต่อสามารถนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี
5. การใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับการเชื่อมและการบัดกรีแข็ง

ข้อเสียของการบัดกรี

1. รอยต่อจากการบัดกร้อ่อนจะรับแรงดึงและความแข็งแรงต่ำกว่างานเชื่อมและการบัดกรีแข็งเมื่อเทียบที่ความหนาที่เท่ากัน
2. การบัดกร้อ่อนเมื่อได้รับความร้อนตัวประสานจะหลอมละลายทำให้ชิ้นงานแยกจากกัน

เนื้อหาบทเรียน บทที่ 7 การตกแต่งผิวสำเร็จ

การทำความสะอาดผิวงาน

ปัจจุบันในวงการงานอุตสาหกรรม ได้มีการตกแต่งผิวชิ้นงานในรูปแบบและวิธีต่าง ๆ มากมาย เช่น การขัดตกแต่งผิว การอบชุบผิวชิ้นงาน ฯลฯ ในการที่กล่าวมานี้การแยกเป็นวิธีการย่อย ๆ อีกมากมายจะแตกต่างกันตรงคุณสมบัติของการนำไปใช้งานของชิ้นงาน นั้น ๆ เช่นการชุบทอง มีการนำมาใช้ใน อุตสาหกรรมประเภทเครื่องประดับต่าง ๆ และในงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอวกาศ เพราะมีคุณสมบัติต้านทานการเกิดออกไซด์ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงได้ดี เช่น การเสียดสีของยานอวกาศกับบรรยากาศของโลก แต่ในการชุบนั้นก็มีกรรมวิธีในการชุบพอสมควร และการชุบมีขั้นตอนดังนี้

การเตรียมชิ้นงาน เป็นการทำความสะอาดผิวชิ้นงานให้เรียบเป็นมันและสะอาดปราศจากคราบไขมันและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ในการทำความสะอาดมีหลายวิธีมากมาย เช่น

การขัดผิวให้เรียบเป็นมัน ในอุตสาหกรรมชุบเครื่องประดับ หรือกรรมวิธีการชุบที่จะกล่าวในที่นี้จะไม่กล่าวถึงขั้นตอนการขัดผิวให้เรียบเป็นมันมากนัก เพราะชิ้นงานเครื่องประดับส่วนมากจะมีผิวเรียบเป็นมันดีอยู่แล้ว แต่ถ้าหากชิ้นงานมีรอยขรุขระหรือสนิมจับ ให้ใช้กระดาษทรายน้ำขัดผิวให้เรียบร้อย แล้วขัดให้ผิวมันด้วยล้อย่ำตีมมอเตอร์

การล้างทำความสะอาดผิว คือ การทำความสะอาดโดยการใช้ น้ำยาล้างทำความสะอาดให้ปราศจากคราบไขมันและสิ่งสกปรกโดยสารเคมีบางชนิดการเตรียมน้ำยา เป็นการเตรียมสารเคมี ที่จะนำมาชุบชิ้นงานนั้น ๆ โดยแยกตามกรรมวิธีของ การชุบ หรือ ชนิดของการชุบนั้น ๆ และนอกจากการชุบแล้ว ยังมีการเคลือบพลาสติกบนโลหะ วิธีการนี้ปัจจุบันนี้พลาสติกมีบทบาทต่อวัสดุเครื่องใช้ประจำวันมาก การเคลือบพลาสติกก็มีบทบาทมากเช่นกัน เพราะชิ้นงานโลหะที่ถูกเคลือบด้วยพลาสติกแล้วก็จะหลีกเลี่ยงการเกิดสนิมและมองดูสะอาดตาน่าใช้ เช่น ตะแกรงชั้นวางของในตู้เย็น ชิ้นงานตะแกรงที่ทำด้วยโลหะส่วนมากจะทำด้วยเหล็ก ถ้าหากไม่เคลือบด้วยพลาสติกแล้ว จะเกิดสนิมง่าย ถึงแม้จะนำไปชุบด้วยโครเมียม ก็ยังมีโอกาสเกิดสนิมขึ้นมาได้ เนื่องจากโลหะถูกกับบรรยากาศที่มีความชื้นจะเกิดออกไซด์ได้ง่าย แต่ถ้าเคลือบด้วยพลาสติกแล้วผิวโลหะจะไม่ถูกสัมผัสกับบรรยากาศภายนอกเลย ทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นและล้างทำความสะอาดผิวงานและกระบวนการตกแต่งผิวสำเร็จจึงมีการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย เราจึงต้องศึกษากรรมวิธีการอบชุบ ประเภทต่าง ๆ ให้เข้าใจในการชุบนั้น ๆ เพื่อนำไปใช้กับงานที่เราต้องการนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการชุบโลหะ

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)

เป็นอุปกรณ์สำคัญมาก เนื่องจากว่าการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าต้องใช้กระแสไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (D.C) ฉะนั้น Rectifier จึงต้องใช้เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C) มาเป็นกระแสไฟตรง ขนาดของ Rectifier ที่กำหนดในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้นใช้ขนาดแรงเคลื่อนไม่เกิน 12 โวลท์ สำหรับ กระแสไฟฟ้าจำนวนมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเนื้อที่ของชิ้นงานที่จะชุบแต่ละครั้ง ส่วนรายละเอียด

ของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้านั้น ๆ ต้องได้ระบุไว้ในเรื่องการชุปแต่ละประเภท ซึ่งน้ำยาชุปแต่ละชนิด จะใช้กระแสไฟฟ้าไม่เท่ากัน เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 12 โวลท์ สามารถใช้กับถังชุปหลาย ๆ ถังก็ได้ ถ้าหากมีแอมแปร์สูงพอ แต่ถ้าหากว่า Rectifier 1 ตัวใช้กับถังชุป 1 ถังก็จะสะดวกในการควบคุมกระแสไฟฟ้า ของแต่ละถัง แต่ถ้าหากว่าจำเป็นต้องใช้กันหลาย ๆ ถังก็จะต้องติดตั้งแผงควบคุมกระแสไฟฟ้าไว้แต่ละถัง

การชุปเคลือบผิวงานในอุตสาหกรรมมีขั้นตอนและอุปกรณ์มากมาย โดยสามารถแยกอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1. ถังบรรจุน้ำยาชุป

โดยทั่ว ๆ ไปใช้ถังทำด้วยเหล็กแล้วบุภายในถังด้วยวัสดุที่ทนต่อสภาพน้ำยาชุปที่เป็นกรด, ด่าง, ถัง เหล็กธรรมดาที่ไม่ได้บุภายในจะต้องเชื่อมทั้งข้างในและข้างนอกด้วยเหล็กธรรมดานี้ใช้บรรจุน้ำยาที่มีฤทธิ์เป็น ด่าง เช่น น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาไฮยาไนต์เจือจาง, น้ำยาทองแดงไฮยาไนต์

ถังโพลีทีน เหมาะในการใช้กับการกัดสนิมและน้ำยาชุป ถังโพลีทีนเหมาะในการใช้กับการกัดสนิม และน้ำยาชุป ถังไฟเบอร์กลาส ปัจจุบันมีการใช้กันอย่างกว้างขวางเหมาะสำหรับน้ำล้าง, กรดเจือจาง แต่ไม่ขอแนะนำให้ใช้กับสารเคมีที่มีฤทธิ์ต่าง

สแตนเลส (นิกเกิล 18 เปอร์เซ็นต์ และโครเมียม 8 เปอร์เซ็นต์) สามารถใช้บรรจุกรดดินปะสิว (HNO_3) - และกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ถังสแตนเลสไม่เหมาะที่จะใช้กับกรดเกลือ

ถังเหล็ก ถังบุภายในด้วย พี.วี.ซี (Polyvinyl chloride) สามารถบรรจุน้ำยาชุปได้ทุกชนิดที่ทำงานใน อุณหภูมิที่ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ถังเหล็กบุภายในด้วยตะกั่ว ซึ่งเหมาะกับน้ำยาชุป โครเมียม

2. เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Heater)

เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้านี้หุ้มภายนอกด้วยโลหะเช่น หุ้มด้วยสแตนเลส หุ้มด้วยตีเตเนียมและ หุ้มด้วยซิลิกา ปกติเวลาใช้จะแขวนไว้ในถังให้อยู่ในแนวตั้ง การที่จะทำให้เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้ามี ประสิทธิภาพในการใช้งานดี ต้องหมั่นทำความสะอาดผิวให้สะอาดอยู่เสมอ

3. เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยโลหะ

เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยเหล็กกล้า ใช้กับน้ำยาไฮยาไนต์และต่างทุกชนิดเครื่องทำความร้อนที่หุ้ม ด้วยสแตนเลส ใช้กับถังน้ำล้าง, กรดฟอสฟอริกและกรดโครมิก เครื่องทำความร้อนที่หุ้มด้วยตีเตเนียมใช้ กับน้ำยาชุปนิกเกิลและโครเมียม

4. เครื่องปั่นลม

การกวนน้ำยาชุปด้วยลม ปกติใช้เครื่องอัดลมที่มีความดันต่ำ โดยนำท่อทางเดินของลมวางอยู่ก้นถัง ปกติ วางอยู่ตรงกับราวที่แขวนชิ้นงานลมที่นำไปใช้เป่ากวนน้ำยา จำเป็นจะต้องเป็นลมที่ปราศจากน้ำมันหรือเศษ ผงปฏิกูลถ้าสิ่งสกปรกเหล่านี้ตกลงไปปนอยู่ในน้ำยาชุปแล้วจะเป็นเหตุทำให้การชุปไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

5. เครื่องกรองน้ำยา (Filter)

การกรองน้ำยาชุป น้ำยาที่เป่าด้วยลมหรือทำงานที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง สิ่งสกปรกที่ อยู่ในถังนั้นจะลอยตัววนเวียนกระจายอยู่ทั่วไปแทนที่จะนอนอยู่ก้นถัง เพราะฉะนั้นการกรองน้ำยาจึง เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าหากว่าปล่อยให้สิ่งสกปรกที่ลอยวนเวียนอยู่ในน้ำยามาเกาะที่ชิ้นงาน ทำให้ ผิวงานหยาบ สิ่งที่จะช่วยในการกรอง หรือใช้กรองมีดังนี้

แผ่นกระดาษกรอง สามารถใช้แทนผ้ากรองทำหน้าที่กรองพร้อมกับถ่านคาร์บอนโดยทำงานในเวลาเดียวกัน โพลีพรอพิลีน เหมาะสำหรับใช้กรองน้ำยาชุบทุกชนิด ยกเว้นน้ำยาโครเมียม ผ้าฝ้าย เหมาะสำหรับน้ำยาที่มีค่า พี.เอช อยู่ระหว่าง 3 ถึง 7 ผ้าไนลอน เหมาะสำหรับน้ำยาที่เป็นด่างหรือไฮยาไนด์ ผ้าเทรลีน เหมาะสำหรับน้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นกรดมาก ๆ เช่นน้ำยาชุบทองแดงชนิดกรด, น้ำยาชุบดีบุก และน้ำยาที่มีฟลูออโบเรท

6. เครื่องขัด Polishing Machine

เครื่องขัดแบบนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 1 ถึง 5 แรงม้า มีล้อสำหรับขัดติดไว้ตรงแกน 2 ข้าง และมี ล้อขัดซึ่งเลือกใช้ได้ตามต้องการ ที่ล้อขัดจะต้องเคลือบด้วยผงทราย Emery ซึ่งมีเบอร์ตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียด

หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า น้ำยาชุบโลหะ (Electrolytes)

จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ได้พบว่าตัวนำไฟฟ้าแบ่งได้เป็นสองพวก คือ

พวกที่หนึ่ง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นแต่เพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้นั้น เช่น โลหะต่างๆ และแกรไฟต์

พวกที่สอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมัน เช่น น้ำเจือกรด และสารละลายของเกลือต่าง ๆ เป็นต้น ตัวนำไฟฟ้าพวกหลังนี้ในทางวิทยาศาสตร์ ใช้ชื่อว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) ไมเคิล ฟาราเดย์ นักวิทยาศาสตร์คนสำคัญคนหนึ่งของโลกได้ตั้งชื่อนี้ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1832 1833 ตัวนำไฟฟ้าพวกที่สองนี้เองที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยตรง

เมื่อเอาสารละลายของทองแดงซัลเฟตมาทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ใช้แผ่นปลาทินัมเป็นขั้วลบโดยต่อเข้ากับขั้วลบ ของแบตเตอรี่ ใช้แผ่นทองแดงบริสุทธิ์เป็นขั้วบวก โดยต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้ $CuSO_4 \rightarrow Cu^{++} + SO_4^{-}$

ทองแดงซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำยาจะแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ 2 ส่วน คือ อนุภาคทองแดง (Cu^{++}) มีประจุไฟฟ้าบวก (+) ประจําตัว, และซัลเฟต (SO_4^{-}) มีประจุไฟฟ้าลบ (-) ประจําตัว เมื่อต่อกระแสไฟฟ้าให้ครบวงจร อนุภาคเล็ก ๆ ทองแดงจะวิ่งไปหาปลาทินัม (ขั้วลบ) เกาะติดเป็นผงสีแดงอยู่บนแผ่นปลาทินัม ส่วนอนุภาคเล็ก ๆ ซัลเฟตจะวิ่งไปหาแผ่นทองแดง (ขั้วบวก) ทำปฏิกิริยากับทองแดงเป็นเหตุให้ทองแดงละลายเป็นทองแดงซัลเฟต แทนที่ทองแดงซัลเฟตตัวก่อนทั้งหมดไป จะแยกสลายออกเป็น 2 ส่วน อีก คืออนุภาคทองแดง (Cu^{++}) และอนุภาคซัลเฟต (SO_4^{-}) อนุภาคทองแดงจะวิ่งไปขั้วลบ เกาะติดอยู่ที่ขั้วลบ อนุภาคซัลเฟตวิ่งไปที่ขั้วบวกทำปฏิกิริยากับขั้วบวก กลายเป็นทองแดงซัลเฟตขึ้นมาแทนที่อีก

การเตรียมผิวงานก่อนชุบ

อุปกรณ์การขัด

อุปกรณ์การขัดประกอบด้วย มอเตอร์ขัด หรือเครื่องขัด ซึ่งมีกำลัง 2-3 แรงม้า และถ้าใช้ขัดงานหนาๆ และงานขนาดใหญ่ อาจจำเป็นต้องใช้ถึงขนาด 5 แรงม้า เช่น กั้นชนรถยนต์ ใช้ความเร็วของมอเตอร์ 1450-2900 รอบต่อนาที

ล้อขัด (polishing wheel)

ล้อขัดที่ใช้ในการขัดโลหะมีหลายอย่างเช่น ล้อหนัง ล้อชนิดนี้ใช้หนังมาเย็บเป็นล้อ ล้อผ้าอย่างแข็ง, ล้อผ้าอย่างอ่อน, ล้อแปรงลวดทองเหลือง, ล้อแปรงลวดเหล็ก, ล้อทำจากปอ, ล้อสักหลาด และล้อแปรงหางม้า

ผงทราย (Emery)

ผงทรายที่ใช้ในการขัดโลหะที่มีขนาดเป็นไมครอนตั้งแต่หยาบประมาณเบอร์ 60 จนถึงเบอร์ 380 แต่ที่ใช้กันมากเบอร์ 70-280

ยาขัด (Polishing Compound)

ยาขัดโลหะนี้ทำจากไขสัตว์ และมีส่วนผสมที่เป็นตัวยัดไขนี้ทำหน้าที่เป็นตัวยัดผงทรายให้รวมตัวเป็นก้อน และสามารถทำให้ผงทรายเกาะอยู่บนผิวของวงล้อและยังทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นในขณะที่ทำการขัดอีกด้วย

ล้อขัดที่เคลือบด้วยผงทราย (Emery wheel)

ล้อขัดชนิดนี้ส่วนมากทำด้วยหนังหรือสักหลาด แล้วเคลือบผงทรายลงบนผิวของล้อ ในการเคลือบผงทรายนี้ ล้อขัดจะต้องแต่งผิวหน้าให้เรียบ

ล้อผ้าหยาบ

ล้อชนิดนี้ใช้ผ้าชนิดหนา ๆ มาเย็บให้เป็นลักษณะล้อ ให้ขัดหลังจากขัดด้วยล้อทรายแล้ว ในการขัดด้วยล้อชนิดนี้ควรใช้ทาด้วยยาขัดชนิดหยาบ เพื่อช่วยลบรอยขีดข่วนที่มีอยู่บนผิวงาน

ล้อผ้าละเอียด

ล้อชนิดนี้ทำด้วยผ้าอย่างนิ่ม ๆ เย็บให้เป็นล้อขัด เหมือนกับล้อผ้าหยาบใช้ขัดงานต่อจากการขัด ในการขัดด้วยล้อผ้าชนิดนี้ต้องให้ยาขัดละเอียดทาด้วย

ล้อหางม้า ทำจากแอมไฟโคไฟเบอร์ หรือบาง อย่างทำจากปอ

ลื้อแปรงลวด ลื้อชนิดนี้ทำด้วยโลหะ มีทั้งชนิดลวดเหล็ก ชนิดลวดทองเหลือง ใช้ขัดผิว

การขัดหยาบ

เป็นการขัดขั้นแรก โดยขัดเอารอยขีดข่วนเล็ก ๆ หรือ บริเวณที่ไม่สม่ำเสมอออก การขัดต้องใช้ลื้อที่เคลือบด้วยทรายหยาบ การขัดละเอียดเป็นการขัดต่อจากขัดหยาบ คือเมื่อขัดผิวขั้นแรกเสร็จแล้ว ก็ขัดผิวด้วยลื้อทรายละเอียดขึ้น จึงขัดด้วยลื้อผ้าหยาบและละเอียดตามมาพร้อมกับใช้ยาขัดประกอบกับลื้อผ้าจะเห็นว่าผิวงานเรียบไม่มีริ้วรอยและเป็นเงา

การขัดเงา

การขัดขั้นนี้ นับว่าเป็นการขัดขั้นงานสุดท้าย ที่ต้องการให้งานมีความเงาโดยทั่ว ๆ ไป ใช้ลื้อผ้าหยาบ ร่วมกับยาขัดสีขาว

การเตรียมลื้อขัดที่ยังใหม่

ลื้อขัดใหม่ ก่อนที่จะนำมาทำการเคลือบด้วยกรดและผงทราย ควรนำมาใส่เพลลาของมอเตอร์ขัด แล้วเปิดมอเตอร์ให้หมุน ใช้แปรงหรือที่แต่งลื้อขัดกดลงบนผิวลื้อขณะที่ยังหมุน เพื่อให้ผิวของลื้อเรียบสม่ำเสมอ ถ้าเป็นลื้อผ้าจะทำให้ผิวของลื้อนิ่มนวลยิ่งขึ้นเหมาะกับการใช้ขัด

การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบ

ความสะอาดของชิ้นงานเป็นสิ่งจำเป็นมากในการชุบ ถ้าหากชิ้นงานไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดที่ถูกต้องแล้ว อาจทำให้ผลการชุบออกมาไม่ได้ผลเท่าที่ควร ดังนั้นการทำความสะอาดอย่างหมดจดจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้ไม่สามารถจะกล่าวย่อให้มากกว่านี้ได้ เพราะประสิทธิภาพของงานชุบนั้น ขึ้นอยู่กับการติดเกาะแน่นของเนื้อโลหะกับชิ้นงานที่ทำการชุบ การทำความสะอาดชิ้นงาน แต่ละกรรมวิธีที่ทำให้ผิวสะอาดเหมาะกับการชุบก็คือการกำจัดไขมัน น้ำมัน และรอยเปื้อนอื่น ๆ ที่ติดมากจากกรรมวิธีการผลิต

การทำความสะอาดและกรรมวิธีของการเตรียมงานก่อนทำการชุบนั้นมีวิธีการหลายอย่างด้วยกัน เช่น

- การกำจัดไขมัน หรือการทำความสะอาดขั้นแรก (Degreasing)
- การทำความสะอาดด้วยกรด หรือจุ่มล้างชิ้นงานให้เป็นเงา (Pickling and Dipping)
- การล้างด้วยน้ำต่างร้อน (Soak clean)
- การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro-clean)
- การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic clean)

การกำจัดไขมันด้วยไอระเหย (Vapour degreasing)

การเอาน้ำมันหรือไขมันออกจากผิวงานที่จะทำการชุบ ด้วยการนำชิ้นงานไปจุ่มแช่ลงใน ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ซึ่งไตรคลอโรเอทิลีนนี้ต้องบรรจุอยู่ในถังพิเศษ ซึ่งมีเครื่องทำความร้อนอยู่

ได้ดัง และมีท่อขดทำความเย็นอยู่บริเวณของปากถัง เวลาใช้งานไตรคอลลโรเอทที่สิ้นต้องให้ความร้อนซึ่งมีจุดเดือดที่ 86°C เมื่อถึงจุดเดือดก็จะเป็นไอระเหยขึ้นมา กระทบกับความเย็นก็กลั่นตัวโดยท่อขดที่ทำความเย็นกลับสู่ในถังอีก เมื่อจุ่มชิ้นงานลงในไตรคอลลโรเอทที่สิ้น ไอระเหยจะถูกกลั่นตัวบนผิวงาน ทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง สำหรับชิ้นงานที่มียาขดติดแน่นอยู่ ขอแนะนำให้จุ่มลงในน้ำมันระเหยนั้นก่อน

การล้างด้วยน้ำด่างร้อน (Soak Clean)

วิธีนี้เป็นการล้างขั้นแรก โดยงานที่ผ่านจากการขัดเตรียมผิวมาแล้ว ควรที่จะล้างด้วยด่างร้อนเสียขั้นหนึ่งก่อน เพื่อให้ชิ้นงานสะอาดหมดจดในการล้างขั้นต่อไป น้ำยาชนิดนี้มีทั้งของสำเร็จโดยผสมกับน้ำใช้ได้ทันที จะผสมเองก็สามารถผสมได้ตามสูตรข้างล่าง

โซเดียมไฮดรอกไซด์	15 กรัม/ลิตร
ไตรโซเดียมฟอสเฟต	25 กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	25 กรัม/ลิตร
โซเดียมเมตาซิลิเกต	8 กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60-70°C

การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro Clean)

น้ำด่างที่ร้อนทุกชนิดจะมีปฏิกิริยาทำความสะอาดต่อโลหะทุกชนิด เวลาที่ใช้ทำความสะอาดนั้นประกอบด้วยส่วนผสมของตัวยา และชนิดของน้ำมันที่จะล้างออกด้วย การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าทำได้รวดเร็วกว่าการจุ่มล้างบางชนิด การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้า คือปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงไปใต้น้ำยาด่างที่ร้อนประมาณ 60-90°C พร้อมทั้งชิ้นงานนั้นล้างได้ทั้งซั้วบวก และซั้วลบ การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้านี้ไม่เหมาะต่อการใช้ทำความสะอาดงานครั้งละจำนวนมาก ๆ

ส่วนผสมของน้ำยา

น้ำ	350 ซี.ซี.
กรดกำมะถัน (ถ.พ. 1.84)	500 ซี.ซี.
กรดดินประสิว (ถ.พ. 1.38)	185 ซี.ซี.
เกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์)	1.5 กรัม

การผสม ใส่ น้ำลงในภาชนะก่อนแล้วเทกรดกำมะถันลงไปอย่างช้า ๆ พร้อมกับกวนน้ำยาตลอดเวลา แล้วทิ้งไว้ให้น้ำยาเย็นถึงอุณหภูมิห้อง จึงค่อยเทกรดดินประสิวจุ่มชิ้นลงไปและติดตามด้วยเกลือแกง

ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับใส่น้ำยานี้ แก้ว, โปสทีน, และพีวีซี. ในระหว่างที่ทำการกัดเงานั้น จะมีไอเกิดขึ้น ฉะนั้นสิ่งสำคัญ คือจะต้องมีเครื่องดูดไอที่ใหญ่พอ ซึ่งสามารถดูดไอนี้ได้หมด การกัดเงาทองแดงผสม นอกจากใช้น้ำยาชนิดนี้ ยังมีน้ำยาอีกชนิดหนึ่งแต่ไม่ทำให้ผิวเงามากนัก

การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา (Pickling and Dipping)

การกัดด้วยกรดกำมะถัน กรดกำมะถันเจือจางใช้สำหรับกัดสนิมเหล็กบาง ๆ เหล็กกล้า, ทองแดง, ทองเหลือง, นิกเกิล-เงา และทองแดงผสมอื่น ๆ

การกัดด้วยกรดเกลือ โดยปกติแล้วกรดเกลือใช้กัดสนิมได้ดีมาก

สำหรับใช้กับงานทั่ว ๆ ไป 1 ส่วน (โดยปริมาตร)

กรดเกลือ (เข้มข้น) 5 ส่วน (โดยปริมาตร)

น้ำ

การผสม ใส่น้ำลงในภาชนะก่อนประมาณ 2/3 ของความจุ แล้วค่อย ๆ เทน้ำกรดลงไปจนหมดแล้วค่อยเติมน้ำปรับระดับอีกครั้งหนึ่ง

การล้างโดยใช้งานเป็นขั้วลบ และมีขั้วบวกเป็นแผ่นเหล็ก เรียกว่า Cathodic clean ส่วนล้างโดยใช้ขั้วงานเป็นขั้วบวก และขั้วลบเป็นแผ่นเหล็กที่เรียกว่า Anodic clean

ความหนาแน่นที่ใช้ในการล้างด้วยไฟฟ้านี้ สำหรับงานทั่วไปใช้ ประมาณ 5-10 แอมป์ / ซม.² เวลา 1-2 นาที ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 4-6 โวลท์ การทำความสะอาดด้วยงานที่เป็นขั้วบวก ถ้าใช้แรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าสูงเกินกว่ากำหนด จะทำให้ผิวงานเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนหรือผิวจะเปลี่ยนสีไป ถ้าผิวเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน ขอแนะนำให้ลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าลง

การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค เป็นการทำความสะอาดด้วยระบบความถี่สั่นแรงของคลื่นอย่างสูง ประโยชน์ของการทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค ส่วนมากใช้กับงานที่เป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็ก ๆ เช่น ชิ้นส่วนของนาฬิกา เครื่องประดับรูปพรรณ

การชุบเคลือบผิวงาน การชุบเคลือบผิวงานมีกระบวนการชุบดังต่อไปนี้

การชุบทองแดง

ทองแดงมีประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวชิ้นแรกของโลหะเดิมก่อนที่จะไปชุบอย่างอื่นเช่น ใช้ชุบบนงานที่มีรอยบัดกรีบนสังกะสีผสม ก่อนที่จะไปชุบนิกเกิล เพราะถ้าหากเอาชิ้นงานที่มีรอยบัดกรี หรืองานที่มีสังกะสีผสมอยู่ สังกะสีจะละลายในน้ำยานิกเกิลทันที แต่ถ้าหากนำชิ้นงานไปชุบทองแดงแบบต่างก่อน แล้วไปชุบด้วยทองแดงแบบกรดและชุบด้วยนิกเกิลเงาตามลำดับ ก็จะทำให้ชิ้นงานนั้นแลดูสวยงามและทนทาน

การชุบทองแดงแบ่งตามสภาพน้ำยาได้ดังนี้

การชุบทองแดงแบบต่าง

สารละลายของการชุบทองแดงแบบต่าง มีกำลังการเคลือบผิวดีมากและการเกาะจับผิวแน่น

ทองแดงแบบต่างยังแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. แบบสไตรค์ (Strike Bath)
2. แบบร็อคเชล (Rochelle Bath)
3. แบบมีประสิทธิภาพสูง (High efficiency Bath)

การชุบทองแดงแบบกรด

การชุบทองแดงแบบกรด นิยมใช้กันมาก การควบคุมน้ำยากง่าย ต้นทุนวัตถุดิบต่ำ ชุบแล้วเป็นเงางามมาก ด้วยเหตุนี้ จึงนิยมใช้ชุบเคลือบผิวโลหะเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงรองพื้นก่อนชุบ

การชุบนิเกิล

โลหะนิเกิลเป็นโลหะสีเงินซึ่งมีความหนาแน่นในสภาพเป็นแท่ง 8.5 มีวาเลนซ์ 2 หรือ 3 แต่ถ้าอยู่ในถังชุบมักมีวาเลนซ์ 2 โลหะนิเกิลเป็นโลหะที่ทนทานต่อการสึกกร่อนค่อนข้างแข็งและทนทานมาก มีแรงต้านทานไฟฟ้าประมาณ 5 เท่าของทองแดง

นิเกิลเป็นโลหะที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการชุบเคลือบผิว การชุบนิเกิลทำให้เป็นมันเงางามใช้กันแพร่หลายมากในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะ เนื่องจากการชุบนิเกิลเป็นการป้องกันรักษาเนื้อโลหะเดิมไม่ให้เกิดสนิมหรือป้องกันไม่ให้มีรอยต่างอันเกิดจากสารเคมีแล้วยังช่วยทำให้โลหะที่ชุบสวยงามเป็นเงางามอีกด้วย

การชุบนิเกิลมีหลายแบบ แบบชุบหน้าใช้ในงานด้านวิศวกรรมเพื่อช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ใช้เคลือบชิ้นส่วนเครื่องจักร และใช้ในการทำแบตเตอรี่กรรมวิธีไฟฟ้า การชุบชนิดนี้จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิ ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอย่างใกล้ชิด มิฉะนั้นแล้วผิวที่ชุบจะเกิดเป็นปุ่ม ๆ และแตกเป็นเส้นได้ง่าย ในคราวนี้จะพูดแต่เพียงการชุบนิเกิลเพื่อความสวยงามเป็นหลักใหญ่ ซึ่งมีมากในอุตสาหกรรมของเราคือการชุบนิเกิลเงา

การเตรียมน้ำยาชุบนิเกิลจากสารเคมี

ถังน้ำยาชุบนิเกิลควรจะเป็นถังเหล็กบุยางแข็ง ก่อนอื่นต้องล้างถังด้วยกรดเจือจางร้อน ๆ ก่อน แล้วล้างน้ำเย็นให้สะอาดเติมน้ำกลั่นลงไปก่อนประมาณ 2 / 3 ของความจุที่ต้องการ

อุ่นน้ำกลั่นให้ร้อนถึง 60°ซ เพราะสารเคมีจะละลายได้ดีที่อุณหภูมินี้ แล้วเติมกรดบอริกลงไปค่อย ๆ เติมนิเกิลซัลเฟตและนิเกิลคลอไรด์ลงไปช้า ๆ จนเห็นเข้ากันดีแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรตามต้องการ ก่อนจะเติมน้ำยาเงาจะต้องทำความสะอาดน้ำยาก่อน

หน้าที่ของส่วนผสมต่าง ๆ ในถัง

นิเกิลซัลเฟต เป็นเกลือที่มีราคาถูกที่สุดในจำพวกเกลือนิเกิลด้วยกัน
นิเกิลคลอไรด์ หน้าที่สำคัญของนิเกิลคลอไรด์คือให้นิเกิลไฮดรอกไซด์ และคลอไรด์ไฮดรอกไซด์
กรดบอริก ทำหน้าที่เป็นตัวปะทะในน้ำยาชุบนิเกิล คือ จะเป็นตัวควบคุมค่าพีเอช ของน้ำยาชุบให้คงที่

อุณหภูมิโดยทั่วไปเราสามารถให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นในถังที่อุ่นมากกว่าในถังที่เย็น อุณหภูมิสูงที่เพิ่มให้นี้จะได้ผลดีก็ยกมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

- การที่นิเกิลละลายได้ในอัตราสูง
- การนำกระแสไฟฟ้าสูง
- โพลาริเซชันลดลงทั้งที่ขั้วบวกและขั้วลบ
- ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นทั้งขั้วบวกและขั้วลบ

ในทางปฏิบัตินิยมใช้อุณหภูมิสูงปานกลางคือ 40°-50° ซ.

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

อุณหภูมิปกติจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 5-20 แอมป์/ฟุต² (0.5-2 แอมป์/ดม.²) ส่วนในถังที่อุ่นจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าถึง 60 แอมป์/ฟุต² (6 แอมป์/ดม.²)

การกวน จะทำให้มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น เพิ่มความเข้มข้นของนิเกิลและของไฮโดรเจนไอออน (ทำให้ลดค่าพีเอช)

ความยุ่งยากในการชุบ

การชุบทองเหลือง

การชุบทองเหลืองในที่นี้หมายถึงการเอาชิ้นงานที่เป็นโลหะชนิดอื่นมาชุบให้เป็นทองเหลือง ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี ฉะนั้นยาชุบทองเหลืองจึงประกอบด้วยทองแดงกับสังกะสี

ประโยชน์ของการชุบทองเหลืองก็เพื่อทำให้ชิ้นงานมีความสวยงามเป็นสีทองเหลืองที่สุกใส งานชุบทองเหลืองส่วนมากชิ้นงานจะทำด้วยเหล็กหรือสังกะสีหล่อ เช่น ลูกบิด ประตุมือจับลิ้นชัก เฟอริไนเจอร์เหล็ก ถังบรรจุน้ำยาชุบทองเหลือง ทำด้วยเหล็กเหนียว หรือเหล็กนูน พีวีซี

ตัวล่อ (Anode)

ตัวล่อในการชุบทองเหลืองเพื่อความสวยงาม ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี

ส่วนผสมของน้ำยาชุบทองเหลือง	อุณหภูมิ	24-38 oc
คอปเปอร์ไซยาไนด์ (CuCn)		27 กรัม/ลิตร
ซิงค์ไซยาไนด์ (Zn(Cn) ₂)		9 กรัม/ลิตร
โซเดียมไซยาไนด์ (Na Cn)		54 กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต (Na ₂ CO ₃)		30 กรัม/ลิตร
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH ₄ OH)		1 ม.ล./ลิตร
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า		3-5 แอมป์/ตารางฟุต
แรงเคลื่อนไฟฟ้า		2-3 โวลท์

การบำรุงรักษาน้ำยา

ถ้าหากว่าค่าของไซยาไนด์มากเกินไปกว่าที่กำหนดไว้ให้แก้ไขดังนี้คือ ถ้าค่าของไซยาไนด์เกินที่กำหนดไว้ 1 กรัม/ลิตร ให้เติม Zinc Cyanide 0.3 กรัม / ลิตร และเติม Copper Cyanide 0.6 กรัม/ลิตร

การควบคุมสีทองเหลืองของน้ำยาชุบ

น้ำยาชุบทองเหลือง ชุบแล้วจะได้สีคล้ายสีทอง ส่วนสีจะเข้มหรืออ่อนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำยาและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

การชุบโครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะที่มีสีขาวนวล สุกใส ไม่ขุ่นมัว ไม่ต้องขัดถูบ่อย ๆ มีความฝืดต่ำ แข็ง มีจุดหลอมตัวสูงที่ 1615° ซี เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิม ประโยชน์ของโครเมียม คือนำไปผสมกับโลหะอื่น ๆ ใน

อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ และใช้ชุบเคลือบบนผิวโลหะอื่น เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะนั้น ๆ เกิดสนิมและขุ่นมัว ฯลฯ

1. การชุบโครเมียมชนิดบางหรือชุบเพื่อความสวยงาม (Decorative chromium) การชุบชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิม และเพื่อความสวยงาม ทนต่อการเสียดสี และทนต่อการถูกร่อน

2. การชุบโครเมียมชนิดหนา ซึ่งเรียกว่า Hard Chromium หรือ Hard Chrome เพื่อเพิ่มความหนาในผิวของโลหะนั้น ๆ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องมือ เครื่องจักรที่สึกหรอไปเพราะการใช้งาน

ถังน้ำยาชุบ ใช้ถังเหล็กบุตะกั่วหรือถังเหล็กบุ P.V.C. และ A.P.A.

การควบคุมน้ำยาชุบโครเมียม

เนื่องจากตัวล่อเราไม่ได้ใช้โลหะโครเมียม ดังนั้นจำนวนโลหะโครเมียมในน้ำยาชุบจึงน้อยลงเรื่อย ๆ การควบคุมน้ำยาชุบโครเมียมอย่างง่าย ๆ กระทำได้โดยเติมกรดโครมิกคลงไป 70 กรัม/ การทำงาน 1000 แอมป์-ชั่วโมง

การตรวจรักษาขั้วบวก

ที่ผิวของน้ำยาชุบน้ำยาจะกัดแผ่นขั้วบวกอย่างรวดเร็ว เราจะเห็นได้จากแผ่นตะกั่วของขั้วบวกจะหนาเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือน้ำยา ดังนั้น การชุบโครเมียมผิวหน้าของขั้วบวกที่เริ่มใช้ใหม่ควรชุบโดยใช้ไฟที่มีโวลท์สูง ๆ กระทำเช่นนี้ประมาณหนึ่งชั่วโมงเพื่อให้ขั้วบวกเป็นสีน้ำตาลและใช้การได้ดี

การชุบเคลือบผิวบนพลาสติก

(Plating on Plastic)

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกเนื้ออ่อนไม่แข็งมากทนความร้อนได้ไม่มาก
2. เทอร์โมเซต (Thermoset) เป็นพลาสติกที่มีเนื้อแข็ง สามารถทนความร้อนได้สูงกว่าประเภทแรก

กรรมวิธีการชุบ

กรรมวิธีการชุบพลาสติกนี้ การควบคุมสภาวะในการชุบจะต้องแน่นอนเพราะจะมีผลต่อผิวงานที่ชุบได้ ซึ่งลำดับขั้นตอนของการชุบแบ่งได้ดังนี้

1. การล้างเพื่อกำจัดไขมัน (Cleaning) ชิ้นพลาสติกที่ผลิตมาจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. การกัดผิว Etching เป็นกรรมวิธีที่ใช้ลอกผิวพลาสติกออก เพื่อให้ผิวพลาสติกมีความหยาบขรุขระเหมาะแก่การเกาะจับของน้ำยา
3. การทำให้ผิวไวต่อปฏิกิริยา (Sensitizing) เป็นการสร้างชั้นของดีบุกลงมาผิวของพลาสติก
4. การกระตุ้นผิวให้เร่งต่อปฏิกิริยา (Activating) เป็นกรรมวิธีต่อจากการ Sensitizing เพื่อเตรียมจะให้โลหะที่จะชุบมาเกาะบนผิวพลาสติกต่อไป
5. การชุบเคลือบผิวโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าด้วยทองแดง หรือนิกเกิล กรรมวิธีนี้เป็นการชุบทองแดง หรือนิกเกิลรองพื้นบนผิวพลาสติก เพื่อให้ผิวพลาสติกมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า

การชุบพลาสติกหล่อ

พลาสติกหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติกเหลว เช่น โปลีเอสเตอร์ โปลียูเรเทน โดยกรรมวิธีหล่อลงไปแบบเมื่อหล่อออกมาก็เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อ เช่น รูปพระ ตุ๊กตา ต่าง ๆ เป็นต้น

1. วิธีทำด้วยผงโลหะ ใช้ผง Copper Bronze powder ผสมกับแลคเกอร์ในอัตรา 500 กรัม / ลิตร หรือใช้ผงบรอนซ์-ทอง แทน Copper Bronze ก็ได้ เมื่อผสมกันแล้วต้องใช้ทาลงบนพลาสติกหล่อให้ทั่วแล้วทิ้งให้แห้ง
2. การจุ่มในน้ำยาเงิน บางกรณีเพื่อให้ชิ้นงานที่ทำด้วยผงบรอนซ์เป็นตัวไฟฟ้าที่แน่นอนควรจุ่มชิ้นงานลงในน้ำยาเงินเสียก่อน

การชุบทอง

ภาวะการทำงานของน้ำยา

ก. พีเอช ถ้าค่าของพีเอชของน้ำยาชุบทองนี้มากกว่า 12 ความเงาจะลดลงเป็นผลให้การเคลือบค่อนข้างแดงและผิวชุบจะมีรอยต่าง เมื่อค่าลดลงกว่า 10.5 น้ำยาชุบจะตกตะกอนดำ

ข. ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ถึงชุบทอง 24 เค จะต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง เพื่อให้ผิวทองค่อนข้างเป็นสีแดง

ค. โซเดียมไนต์ ในน้ำยาชุบทอง ที่มีทองแดงผสมอยู่ ทองแดงจะทำการชุบเร็วขึ้นถ้าส่วนผสมของโซเดียมไนต์ต่ำ และถ้าเพิ่มสูงขึ้น สีชมพูจะจางลง

ง. ความเข้มข้นของน้ำยา เมื่อเพิ่มเกลือทองในน้ำยาชุบ ก็เท่ากับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระแสขณะทำการชุบและสามารถใช้ความหนาแน่นของกระแสสูง ๆ

จ. อุณหภูมิ ถึงชุบทอง 24 เค (ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 71°C. จะปรากฏว่าผิวชุบแก่ไป

ฉ. สิ่งสกปรกของโลหะ สิ่งสกปรกบางที่ก็ทำให้ผิวของเนื้อชุบนี้เงา และแข็งขึ้น แต่ถ้ามีตะกั่วอาร์ซีนิก และแอนติโมนีผสมอยู่ถึง 1 กรัม/ลิตร จะทำให้ผิวชุบดำ

การลอกผิวทองชุบออก

ทองที่ชุบเคลือบบนทองเหลือง หรือทองแดง สามารถลอกออกได้ด้วยการใช้ไฟฟ้าล่อออกในกรดกำมะถัน บนนิเกิลด้วยการใช้ไฟล่อออกในน้ำยาโซเดียมไนต์ที่อุ่น เพื่อเพิ่มการลอกยิ่งขึ้น วิธีการลอกทองออกจากผิวนิเกิลและผิวทองแดงบาง ๆ อาจใช้จุ่มในน้ำยา 5% โปตัสเซียมโซเดียมไนต์และคอปเปอร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ ลงไปจนกระทั่งเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา ถ้าหากใส่มากเกินไปจะทำให้หน้ายาเกิดฟอง

การชุบเงิน

เนื่องจากเงินเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด และไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี (ยกเว้นซัลเฟอร์) ด้วยเหตุนี้จึงนำไปใช้เป็นตัวคอนแทคทีนอุตสาหกรรมไฟฟ้า อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมและโลหะสะท้อนแสงสำหรับดวงไฟ

การชุบเงินบนโลหะจำพวก เหล็ก ทองเหลือง ทองแดง นิเกิล และนิเกิลผสม มักจะทำการเคลือบผิวโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้ผิวที่เคลือบเกาะตัวอยู่ไม่แน่น ฉะนั้นจึงแก้ปัญหานี้ด้วยการชุบเงินที่มีส่วนผสมของโปตัสเซียมโซเดียมไนต์สูง ที่เรียกกันว่า “สไตรค์” ตามสูตรข้างล่างนี้เสียก่อน

ซิลเวอร์ ไชยาไนต์ Ag CN	5 กรัม/ลิตร
โปตัสเซียม ไชยาไนต์ KCN	70 กรัม/ลิตร
โปตัสเซียมคาร์บอเนต K ₂ CO ₃	15 กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	25 องศาซ.
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	4-6 โวลท์

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 20 แอมป์/ฟุต

ส่วนผสมทั้งสองข้างบนนี้ทำงานที่อุณหภูมิของห้อง โดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 0.5-1 โวลท์ และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 5-15 แอมป์/ฟุต² (0.5-1.5 แอมป์/ดม.²)

การชุบทองคำขาว (โรเดียม)

สูตรของน้ำยามี 3 ชนิด คือ 1. ชนิดฟอสเฟต 2. ชนิดฟอสเฟต – ซัลเฟต 3. ชนิดซัลเฟต

ขั้นตอนการชุบทองคำขาว

Standard Pascking 100 ml. ของน้ำยา Rhodium Solution จะมี Rhodium อยู่ 4.0 กรัม ซึ่งสามารถผสมเป็นน้ำยาชุบได้ 2 ลิตร

Rephenishing Solution น้ำยาสำหรับบำรุงรักษาน้ำยาชุบ Rhodium

Standard Packing 100 ml. ของน้ำยามี Rhodium อยู่ 5 กรัม

การเติมน้ำยา Replenishment หลังจากใช้น้ำยาไปแล้วประมาณ 20% ต้องเติม Replenishing Solution 8 ml.

1. ชัดให้เงา
2. กำจัดไขมันโดยล้างในน้ำยา หรือล้างด้วยเครื่อง Ultrasonic
3. ล้างน้ำ
4. ล้างด้วยไฟฟ้า
5. ล้างน้ำ
6. ล้างด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำ De-ionized
7. ชุบนิเกิลเงา หรือ white gold
8. ล้างน้ำ
9. จุ่มกรดกำมะถัน 5% โดยปริมาตร
10. ล้างน้ำ
11. ชุบทองคำขาว ใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 1 แอมป์/ตารางเดซิเมตร 2-3 โวลท์
12. ล้างน้ำ

การชุบสังกะสี

ลำดับขั้นของการชุบ

1. การทำความสะอาด (Cleaning)
2. การทำการชุบ (Plating)
3. การตกแต่งขั้นสุดท้าย (Post Treatment)

4. การอบให้แห้ง (Drying)

1. การทำความสะอาด (Cleaning)

การชุบแล้วลอก สาเหตุเนื่องมาจากผิวของเหล็กไม่สะอาด มีสิ่งสกปรกมาขัดขวางอยู่ระหว่างผิวของเหล็กกับเนื้อโลหะ สังกะสี ทำให้เนื้อโลหะสังกะสีเกาะติดไม่แน่นสนิท

การทำความสะอาดสามารถแบ่งออกเป็นตอน ๆ ได้เช่น

- 1.1 การล้างไขมัน (Degreasing) อาจจะใช้ น้ำมันบางชนิดที่มีคุณสมบัติละลายไขมันได้
- 1.2 การล้างด้วยน้ำสะอาด (Rinsing) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ หมดไป
- 1.3 จุ่มน้ำกรดกำจัดสนิม (Pickling) ถ้าชิ้นงานมีสนิมควรกำจัดเอาสนิมหรือออกไซด์ต่างๆ ออกให้หมดเสียก่อน
- 1.4 การล้างด้วยน้ำให้สะอาดจริง ๆ ก่อนชุบ (Thorough Rinsing)

2. การชุบ (Plating)

หลังจากผ่านการทำความสะอาดตามลำดับขั้นต่าง ๆ แล้ว ให้นำชิ้นงานลงชุบในถังชุบโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะกระทำได้อันนี้เพื่อป้องกันมิให้ผิวหน้าของชิ้นงานซึ่งได้รับการล้างอย่างสะอาดแล้วเกิดการสกปรกขึ้นมาอีก การจะเลือกใช้กรรมวิธีอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพ คุณสมบัติ และคุณลักษณะที่ผลิตนั้น ๆ ต้องการ และถ้าในกรณีที่มีความเหมาะสมกับงานที่จะทำพอ ๆ กัน ก็ควรจะเลือกเอากรรมวิธีที่ประหยัด

แอโนด (ANODE)

การชุบสังกะสีโดยทั่ว ๆ ไป มักจะใช้สังกะสีบริสุทธิ์เป็นแอโนด ความเข้มข้นของน้ำยาอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ทั้งในทางเข้มข้นหรือเจือจางลง ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากแท่งสังกะสีเราใช้ทำแอโนดอาจจะละลายออกมาอย่างรวดเร็วและมากเกินไปจนเป็นเหตุให้น้ำยามีความเข้มข้นมาก

3. การตกแต่งขั้นสุดท้าย (Post Treatment)

การจุ่มในน้ำยาเคมีบางชนิดอีกครั้งหนึ่งซึ่งเรียกว่า *Passivate* โดยมีจุดประสงค์เพื่อ

- ก. ทำให้ชิ้นงานมีความสุกใสเงางามยิ่งขึ้น
- ข. ช่วยเพิ่มอำนาจต้านทานการผุกร่อนมากขึ้น
- ค. ให้ชิ้นงานมีสีได้สีหนึ่งตามต้องการ

4. การอบให้แห้ง (Drying)

เมื่อชุบเสร็จและล้างด้วยน้ำสะอาดครั้งสุดท้ายแล้ว จะต้องทำชิ้นงานแห้งโดยเร็วที่สุดที่จะเร็วได้เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้ชิ้นงานเกิดรอยต่างสกปรก

กรรมวิธีการจุ่มสน้ำยาเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อน (Passivation)

น้ำยาเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนหมายถึงอะไร

น้ำยานี้เป็นน้ำสารละลายชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับจุ่มงาน เพื่อให้ น้ำสารละลายเคลือบทับบนผิวของโลหะหลังจากชุบด้วยไฟฟ้าแล้ว เพื่อเพิ่มความต้านทานไม่ให้เกิดรอยต่างเนื่องจากบรรยากาศภายนอกและความชื้น

อุปกรณ์ที่ใช้

ถัง หรือที่บรรจุน้ำยาจุ่มนี้ควรจะทำขึ้นด้วยสิ่งที่ไม่ทนต่อกรด เช่น พลาสติก, พีวีซี ถัง ดินเผาเคลือบ (Ston ware) ไร้สนิม (Stainless Steel) หรือภายในถังบุด้วยยางแข็ง

ขั้นตอนการชุบสังกะสี

ขั้นตอนของการชุบสังกะสีสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- กำจัดไขมัน (Pre Clean) ล้างด้วยไฟฟ้าใช้งานเป็นบวก (Anodic Clean) ล้างน้ำ
- จุ่มกรดเกลือ 50% โดยปริมาตร ล้างน้ำ จุ่มไฮยาไนต์ 5% ชุบสังกะสี 20-30 นาที
- ล้างน้ำ จุ่มกรดดินประสิว 1/2 % ล้างน้ำ จุ่มน้ำยาเพิ่มความต้านทาน (Passivation)
- ล้างน้ำ อบให้แห้ง

การชุบแคดเมียม (Cadmium Plating)

ขั้นตอนการชุบแคดเมียม

1. ล้างไขมันโดยใช้ Solvent degreasing หรือน้ำยาต่างแบบต้ม
2. ล้างด้วยไฟฟ้าใช้งานเป็นขั้วบวก 1-2 นาที
3. ล้างน้ำ
4. จุ่มกรดเกลือ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
5. ล้างน้ำ
6. จุ่มไฮยาไนต์ 5 เปอร์เซ็นต์
7. ล้างน้ำ
8. ชุบแคดเมียม
9. ล้างน้ำ
10. จุ่มน้ำยาเพิ่มความต้านทาน

การอะโนไดซ์

การอะโนไดซ์อลูมิเนียมคือการทำให้ผิวของอลูมิเนียมให้เป็นอลูมิเนียมออกไซด์ในลักษณะเป็นฟิล์ม ซึ่งกรรมวิธีการทำก็คล้ายกับการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า แตกต่างกันเฉพาะข้อปลีกย่อย

กรรมวิธีการอะโนไดซ์ จะต้องประกอบด้วยถังที่บรรจุน้ำยาสำหรับการอะโนไดซ์ ขั้วบวกขั้วลบ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่าน

ฟิล์มที่เกิดจากการอะโนไดซ์ทำให้อลูมิเนียมมีปริมาตรมากกว่าเดิม และถ้าลอกฟิล์มนี้ออก ความหมายของงานนั้นน้อยกว่า เมื่อก่อนเริ่มงาน

การป้องกันอุบัติเหตุในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

การป้องกันอุบัติเหตุภายในโรงงานชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าอาจแบ่งตามลักษณะของงานออกเป็น ส่วน ๆ ได้ 5 ส่วนคือ

1. การป้องกันบริเวณทั่ว ๆ ไป
2. การป้องกันภายในห้องชุด
3. การป้องกันในห้องทดลอง

4. การป้องกันในห้องซูป
5. การป้องกันในห้องเก็บวัสดุ

การป้องกันอุบัติเหตุทั่ว ๆ ไป

ภายในโรงงานซูปโลหะทั่ว ๆ ไป การระบายน้ำทิ้งจะเป็นปัญหาใหญ่ที่สำคัญ เนื่องจากน้ำทิ้งส่วนใหญ่ มักจะมีกรดหรือด่างเจือปนอยู่ ดังนั้นควรจัดทำบ่อพักกักน้ำไว้ระยะหนึ่งจนหมดอันตราย

การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องขัด

อันตรายที่จะเกิดขึ้นได้ภายในห้องขัดมีอยู่ 2 อย่าง คือ อันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากวงล้อขัด ซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง ถ้าผู้ปฏิบัติงานขาดความระมัดระวัง อันตรายอีกประการหนึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่คนงานหายใจเอาฝุ่นผงโลหะเข้าไป

การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องทดลอง

ข้อควรระวังในการปฏิบัติงานทั่ว ๆ ไปคือ

1. เมื่อจะทำให้กรดเจือจางจะต้องเทกรดลงในน้ำไม่ใช่เทน้ำลงในกรด
2. สารเคมีพวกคออสติคโซดา
3. ไฮยาไนต์ เป็นสารเคมีเป็นพิษเป็นอันตรายถึงตาย ดังนั้น ถึงไฮยาไนต์ควรปิดฝาให้มิดชิด

การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องซูป

วิธีการป้องกันที่ควรปฏิบัติคือ

1. พื้นห้องควรจัดทำเป็นแผงไม้ยกให้สูงจากพื้นประมาณ 3 นิ้ว เพื่อไม่ให้พื้นเปียกชื้น ป้องกันกระแส ไฟรั่ว และการลื่นหกล้มของคนงานด้วย
2. การเดินสายไฟฟ้าต่าง ๆ ควรเดินสายดินเผื่อ ๆ ในกรณีที่เกิดไฟรั่วได้
3. เมื่อทำงานเกี่ยวกับการผสมหรือต้องยกเคลื่อนย้ายน้ำยาสารเคมีต่าง ๆ ควรใส่รองเท้าบูทยางสวมถุงมือ และสวมแว่นตาป้องกัน
4. เมื่อผสมกรดใครมิก ผู้ปฏิบัติงานควรมีถุงมือ และสวมแว่นตาป้องกัน

การป้องกันอุบัติเหตุในห้องเก็บวัสดุ

วิธีควรปฏิบัติ คือ

1. แยกส่วนที่เก็บเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ออกจากส่วนที่ใช้เก็บสารเคมี
2. ห้องเก็บควรปราศจากความชื้นและพื้นห้องควรเป็นพื้นที่ทนต่อกรดและด่าง
3. ควรยกพื้นสำหรับเก็บสารเคมีต่าง ๆ เพื่อป้องกันในกรณีพื้นห้องอาจเกิดเปียกชื้น
4. ต้องไม่ลืมว่า กรดทุกชนิดไม่ควรเก็บไว้ใกล้กับไฮยาไนต์
5. ควรจัดทำก๊อกน้ำไว้ภายในห้องเก็บวัสดุด้วย

การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

1. แผลไหม้เกิดจากสารเคมี ไม่ว่าจะเป็กรดหรือด่าง ควรล้างน้ำสะอาด
2. กรดหรือด่างถูกนัยน์ตา ใช้น้ำเกลือธรรมดา ซึ่งมีส่วนผสมเกลือ 58 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ล้างตาหลาย ๆ ครั้ง
3. ถูกสารพิษไฮยาไนต์ ไฮยาไนต์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี เช่น

- หายใจเอาแก๊สของกรดไฮโดรซยานิก ซึ่งเกิดจากกรดผสมกับไซยาไนด์
 - กระเด็นเข้าไปในปากในลักษณะเป็นก้อนหรือเป็นน้ำยาซุบ
 - ซึมเข้าทางผิวหนังหรือแผลตามร่างกาย
- อาการแพ้พิษยาไซยาไนด์จะสังเกตได้คือ
- ผู้ป่วยรู้สึกแสบคันในลำคอ
 - ผู้ป่วยรู้สึกหัวใจเต้นถี่เร็ว
 - ผู้ป่วยจะรู้สึกหายใจไม่สะดวก ถี่และหอบจนถึงหมดสติ

วิธีปฐมพยาบาล

- ขึ้นแรกถ้าผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้นำผู้ป่วยไปนอนในที่กลางแจ้ง
- ใช้ผ้าเช็ดบริเวณที่ถูกไซยาไนด์ให้หมดแล้วล้างด้วยน้ำและล้างด้วยน้ำยาบัพเฟอร์ ฟอสเฟต
- ห่มผ้าให้ผู้ป่วยเพื่อให้ร่างกายอบอุ่น
- ช่วยการหายใจโดยการเป่าลมเข้าปาก หรือให้ออกซิเจน

ข้อแนะนำสำหรับแพทย์

ในกรณีที่ผู้ป่วยหมดสติ ควรจัดยาให้ผู้ป่วยดังนี้

1. ละลายโซเดียมไนไตรต์ 0.3 กรัม ในน้ำบริสุทธิ์ 10-15 ซีซี ฉีดให้อัตรา 2.5-5 ซีซี ต่อนาที
2. ละลายโซเดียมไตรออสเฟต 25 กรัม ในน้ำบริสุทธิ์ 50 ซีซี ฉีดตามเข้าไปในอัตราเดียวกัน
3. ถูกไอพิษไตรคลอโรเอททีลีน ไคของน้ำมันเมื่อสูดเข้าไปจะทำให้มีความรู้สึกซึมเซา
4. ถูกไฟฟ้าดูด ผู้ป่วยจะมีอาการช็อค หัวใจเต้นอ่อนลง ควรกระตุ้นให้ผู้ป่วยหายใจโดยการใส่ปากเป่าลมเข้าปากช่วยในการหายใจ

เนื้อหาบทเรียน บทที่ 8

การวัด การทดสอบ และการตรวจสอบทางวิศวกรรม

การวัด (Measurement) หมายถึง การวัดขนาด รูปร่าง สัดส่วน รูปทรง ตำแหน่งของชิ้นงาน โดยใช้เครื่องมือวัดแบบต่างๆ หาค่าตามความต้องการ ค่าที่วัดได้สามารถแบ่งออกได้ด้วย ตัวเลข รูปภาพ หรือกราฟ ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ตัวเลขเป็นบ่งบอกค่าที่วัดได้

การทดสอบ (Testing) หมายถึง ความต้องการหาค่าต่าง ๆ ของวัสดุที่เราต้องการทราบ เช่น ความแข็งแรง ความทนทาน ความเหนียว และอื่น ๆ เป็นต้น โดยใช้เครื่องมือทดสอบที่เหมาะสมแบบต่าง ๆ บางครั้งค่าที่ทำการทดสอบได้อาจจะยังไม่ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย หรือจะนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้

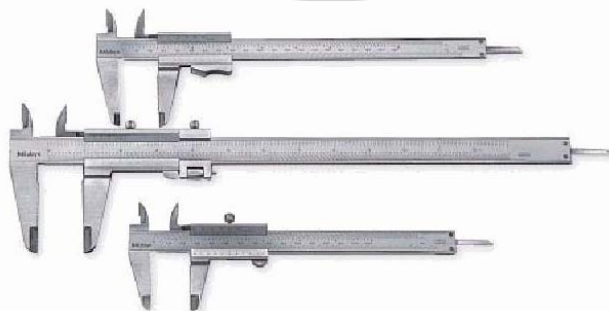
การตรวจสอบ (Inspection) หมายถึง หรือการพิจารณาตัดสินว่า ค่าที่ได้จากการวัด หรือการทดสอบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมถึงการค้นหาจุดบกพร่องหรือแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น พร้อมทั้งหาแนวทางในการแก้ไข ขั้นตอนนี้ผู้ตรวจสอบต้องสามารถสรุป และอธิบายผลจากการตรวจสอบได้

เครื่องมือวัด เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการ ตามลักษณะงานและความเที่ยงตรง เครื่องมือวัดจำเป็นต้องมีการควบคุมดูแล สอบเทียบหรือปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด (Calibration) และบำรุงรักษาเป็นประจำอยู่เสมอ เพื่อความแม่นยำและเที่ยงตรงในการวัดค่า เครื่องมือวัดบางชนิดอาจยอมให้มีค่าความผิดพลาด (Error) ได้ แต่ต้องอยู่ในเกณฑ์ขีดความสามารถของการวัดที่ต้องการ เครื่องมือวัดมีอยู่หลายชนิด ได้แก่

เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

เวอร์เนียคาลิเปอร์เป็นเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดเที่ยงตรงสูง สามารถวัดได้ละเอียดถึง 1/50 มม. (0.02 มม.) หรือ 1/1,000 นิ้ว (0.001") ใช้วัดขนาดได้ทั้งความโตภายใน ความโตภายนอก เวอร์เนียบางแบบใช้วัดความลึกได้ด้วยรูปร่างลักษณะของเวอร์เนีย ดังในรูป

เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบใหม่ในปัจจุบันแบ่งเป็นหลายชนิดแตกต่างกันตามวิธีการอ่านค่า เช่น แบบชนิด M ซึ่งเป็นเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบมาตรฐาน แบบที่แสดงค่าบนหน้าปัทม์ (Dial) และแบบที่อ่านค่าเป็นตัวเลขอิเล็กทรอนิกส์ เวอร์เนียคาลิเปอร์ที่แสดงการอ่านค่าวัดเป็นตัวเลข เป็นพัฒนาการใหม่ล่าสุดและเริ่มนิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถอ่านค่าได้ง่าย และความผิดพลาดจากการอ่านน้อย ค่าความละเอียดของเวอร์เนียคาลิเปอร์ชนิด M เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรสำหรับเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบหน้าปัด (Dial) เท่ากับ 0.02 มิลลิเมตร และสำหรับเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบแสดงผลเป็นตัวเลข (Digital) เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร

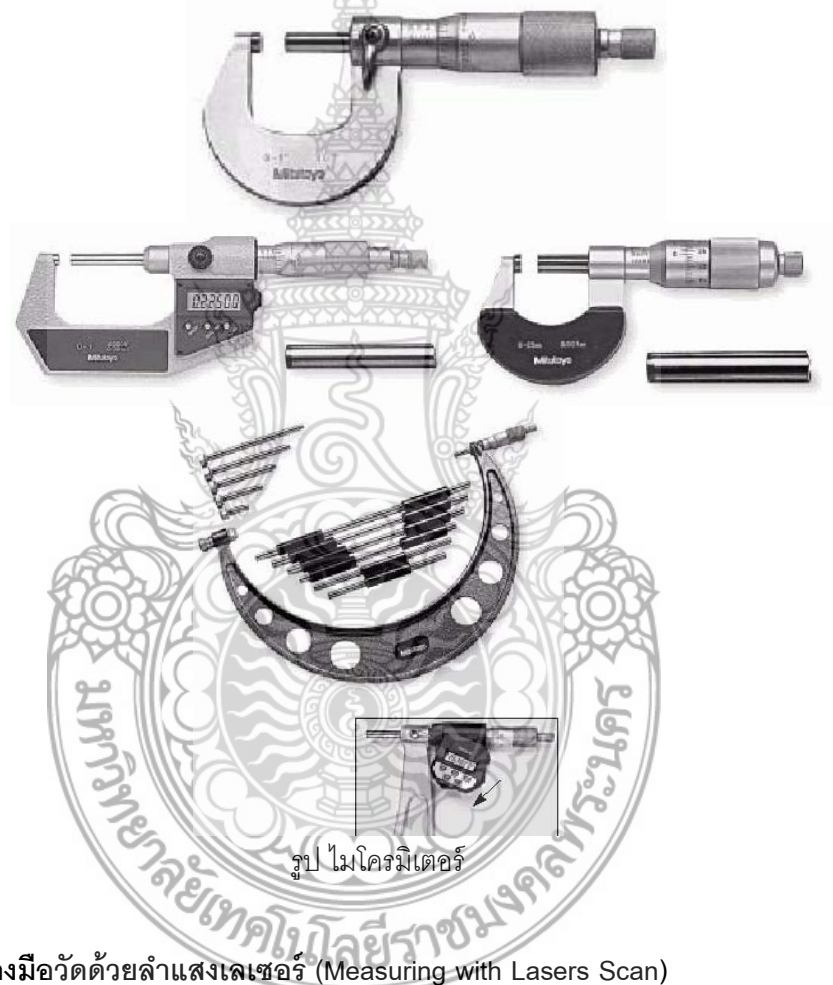


รูป เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบต่าง ๆ

ขนาดความยาวของเวอร์เนียจะมีขนาดเป็นมาตรฐานความยาวคือ 150 มม. 300 มม. 600 มม. 900 มม. และ 1,200 มม. หรือ 6" 12" 36" และ 48"

ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

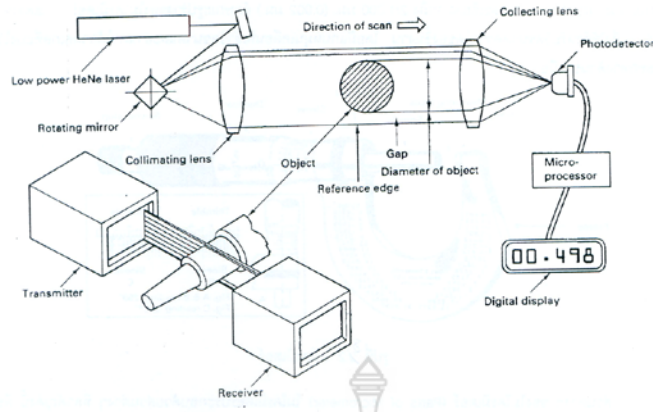
ไมโครมิเตอร์ เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถทำการวัดได้ละเอียดมากกว่า บรรทัดเหล็ก และเวอร์เนีย ชื่อเต็มของไมโครมิเตอร์จะเรียกว่า ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ (Micrometer Caliper) ไมโครมิเตอร์ในระบบนี้จะมีค่าความละเอียดในการวัด $1/1,000$ นิ้ว และละเอียดมากถึง $1/10,000$ นิ้ว และไมโครมิเตอร์ในระบบเมตริก มีค่าความละเอียดในการวัด $1/100$ มม. (0.01 มม.) และละเอียดมากถึง $2/1,000$ มม. (0.002 มม.) ลักษณะรูปร่างของไมโครมิเตอร์ ดังแสดงในรูป ซึ่งใช้สำหรับวัดขนาดความโตชิ้นงาน โดยมีแกนหมุนเคลื่อนที่เข้าวัดขนาดและอ่านค่าได้จากสเกลที่แบ่งไว้บนปลอกทางด้านขวามือ



รูป ไมโครมิเตอร์

เครื่องมือวัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Measuring with Lasers Scan)

เป็นเครื่องมือวัดที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการวัดที่รวดเร็ว และเที่ยงตรงโดยที่ชิ้นงานไม่ต้องสัมผัสกับเครื่องมือวัด ดังรูปการวัดใช้แสงเลเซอร์ยิงไปยังชิ้นงานด้วยความเร็ว 350 ครั้งต่อวินาที สามารถวัดได้ละเอียดถึง $0.125 \mu\text{m}$ ข้อได้เปรียบ คือ สามารถวัดงานที่กำลังหมุน หรือสั่นสะเทือน งานที่มีอุณหภูมิสูง และงานที่มีความยืดหยุ่นได้



รูป Scanning laser measuring system

บรรทัดวัดมุม (Bevel Protractor)

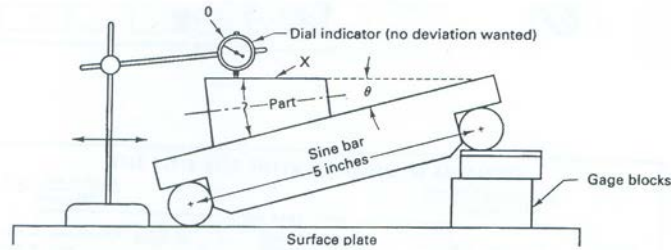
เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดมุม มีหน้าปัดบอกค่าของมุมเป็นวงกลม สามารถอ่านค่าได้เป็นองศา และลิปดาได้โดยตรง ดังรูปในการวัดบรรทัดทั้งสองต้องสัมผัสกับชิ้นงาน บรรทัดวัดมุมจะวัดได้ละเอียดถึง 1/12 องศา หรือ 5 ลิปดา โดยเพิ่มสเกลในส่วนละเอียดเข้าไปเป็นตัวแยกความแตกต่าง ซึ่งสเกลอ่านค่าได้จาก 0° - 90° ทั้งด้านซ้าย และด้านขวาในทุก ๆ ซี่ดองศา จะมีตัวเลขบอกองศาไว้ ส่วนสเกลละเอียดจะติดอยู่กับชุดปรับมุมด้านใน อ่านค่าได้ละเอียดซี่ดละ 5 ลิปดา ในแต่ละช่องใหญ่ มี 3 ซี่ด จะมีตัวเลขบอกเพื่อให้อ่านได้ง่าย ตั้งแต่ 15, 30, 45 และ 60 ลิปดา



รูป (a) บรรทัดวัดมุม (b) แสดงการแบ่งสเกล

Sine Bar

เป็นเครื่องมือวัดมุมที่ไม่สามารถอ่านค่าได้โดยตรง วิธีใช้ต้องใช้ร่วมกับนาฬิกาวัด (Dial Indicator) แท่งเกจ (Gauge Blocks) และแท่นระดับ (Surface Plate) ดังรูป



รูปการวัดด้วย Sine Bar

ลักษณะของ Sine Bar จะประกอบด้วยแท่งโลหะที่ปลายทั้ง 2 ด้าน จะมีแท่งทรงกระบอกติดอยู่ในแนวขวางระยะห่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกทั้งสอง จะเป็นตัวกำหนดขนาดของ Sine Bar โดยทั่วไป จะนิยมใช้ขนาด 5 นิ้ว

วิธีการวัดนั้น จะต้องทำชิ้นงานมายึดติดบน Sine Bar ให้แน่น แล้ววางปลายด้านหนึ่งของแท่งทรงกระบอก ลงบนแท่นระดับ จากนั้นใช้แท่งเกจหนุนที่แท่งทรงกระบอกอีกด้านหนึ่งไปเรื่อยๆ จนทำให้ชิ้นงานมีความขนานกับแท่นระดับหรือใช้นาฬิกาวัดจากหัวถึงปลายของชิ้นงานแล้วเข็มไม่มีการเคลื่อนไหว แล้วจึงอ่านค่าความสูงของแท่งเกจว่ามีขนาดเท่าใดจากนั้นนำไปคำนวณหาค่ามุมของชิ้นงานได้จากสมการ

$$\text{Sine}\theta = \frac{a}{b}$$

- เมื่อ θ = ค่ามุมของชิ้นงาน
- a = ค่าความสูงของแท่งเกจ
- b = ระยะห่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทรงกระบอกทั้งสอง (โดยทั่วไปมีค่า 5 นิ้ว)

แท่งเกจ (Gauge Block)

เป็นเครื่องมือวัดในตัวมันเองหรืออาจจะใช้เป็นตัวสำหรับเปรียบเทียบในการปรับ เครื่องมือวัดให้ได้มาตรฐานขนาดความหนา และความยาว แท่งเกจแต่ละชิ้นจะถูกตัดตามมาตรฐาน GGG-G-15 แท่งเกจ ที่นิยมใช้กันแพร่หลายจะมี 111 ชิ้น (ในระบบเมตริก) และ 81 ชิ้น ในระบบอังกฤษ ดังรูปที่ 8.6



Series 516 - Metric

รูป (a) แสดงลักษณะของแท่งเกจ แสดงขนาดของแท่งเกจ

การวัดความเรียบ

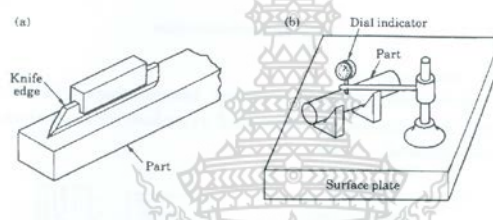
สภาพผิวสำเร็จของชิ้นงานนับว่ามีความสำคัญไม่น้อย ไม่ว่าขนาดหรือสัดส่วนของชิ้นงานนั้น ๆ อาจเป็นรูปทรงเรขาคณิต พื้นเรียบ ผิวโค้ง ยี่งงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้สี การด้านทานสภาพอากาศ คุณสมบัติใน

การ Absorption การหล่อลื่น การต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue) พิกัดความเผื่อ (Tolerance) คุณสมบัติเหล่านี้มีผลมาจากความหยาบ (Roughness) ของผิว ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการขึ้นรูป เช่น กลึง เจาะ เจียร นัย ฯลฯ

ในการออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องจักร วิศวกรจำเป็นต้องกำหนดความเรียบของผิวงานไว้เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกัน ดังนั้นเครื่องมือวัดความเรียบผิวของชิ้นงานมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการใช้กำหนดคุณภาพผิวชิ้นงาน

Straightness

เป็นการวัดความเรียบผิวงานลักษณะหนึ่ง ซึ่งกระทำได้ง่ายแต่ไม่มีความละเอียด กระทำได้โดยการใช้บรรทัดเส้นผม (Knife Edge) วางทาบบนผิวของชิ้นงาน แล้วมองด้วยตาเปล่าตรงบริเวณผิวที่บรรทัดเส้นผมสัมผัสกับชิ้นงานในลักษณะการมองเข้าหาแสงไฟ หรือแสงสว่าง ถ้าพบว่ามีแสงสามารถลอดผ่านได้แสดงว่าผิวของชิ้นงานนั้นพื้นผิวไม่มีความเรียบ ดังรูป (a)

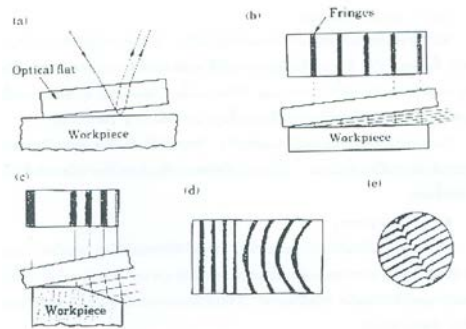


รูป (a) แสดงการใช้บรรทัดเส้นผมวัดความเรียบผิว (b) แสดงการวัดความเรียบด้วยนาฬิกาวัด

นอกจากนี้ยังสามารถใช้นาฬิกาวัด (Dial Indicator) วัดความเรียบของผิวงานได้ โดยการลากแกนวัดไปบนผิวของชิ้นงาน ถ้าเข็มบนหน้าปัดของนาฬิกาวัดไม่มีการเคลื่อนไหว แสดงว่าผิวของชิ้นงานนั้นมีความเรียบ ถ้าเป็นการวัดงานทรงกระบอก ควรยึดชิ้นงานให้แน่น บน V-Block ก่อน แล้วจึงใช้นาฬิกาวัดความเรียบของผิวงานดังรูป b

Flatness

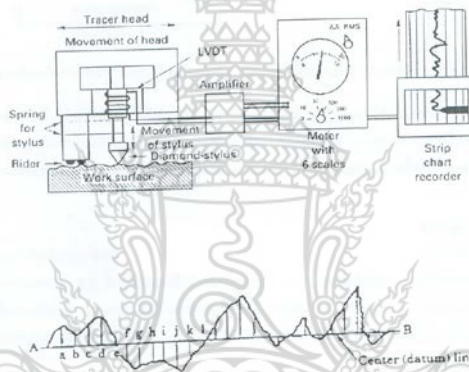
นอกจากจะมีการวัดความเรียบโดยการใช้นาฬิกาวัดแล้ว ยังมีวิธีการวัดในลักษณะอื่นอีก เช่นการใช้แสง ซึ่งประกอบด้วยจานทำด้วยแก้ว หรือหินเขียวทึบมาน โดยวางขนานกับชิ้นงานดังรูปเมื่อลำแสงกระทบกับผิวหน้าชิ้นงาน ลำแสงจะเกิดการหักเห แยกออกเป็น 2 ลำแสง คือลำแสงมือสลัดกับลำแสงสว่าง ซึ่งจะมีความถี่มากขึ้นอยู่กับความเรียบของชิ้นงานนั้น โดยจะแสดงออกมาบนจอภาพ ในลักษณะเป็นเส้นโค้ง เหมาะกับผิวงานที่เป็นมุม หรือมีลักษณะเป็นรอยขีดข่วน



รูปแสดงการวัดโดยใช้แสง

Surface Roughness

เป็นการวัดโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการบันทึกผล ซึ่งให้ความละเอียดสูงมาก ในการวัดจะใช้ปลายของเข็มวัด (Stylus) ลากไปบนผิวของชิ้นงานในแนวเส้นตรง ดังรูปจากนั้นเครื่องจะบันทึกผลออกมาเป็นกราฟ แสดงความเรียบของผิวเป็นไมครอน (ระบบเมตริก)



รูปแสดงเส้นอ้างอิงของพื้นผิวงาน

วิธีการหาค่าความเรียบของผิวงานจะทำได้ 2 วิธี คือ

- หาได้จาก ค่าตัวกลางเลขคณิต (Arithmetic Mean Value : Ra)

$$Ra = \frac{a + b + c + d + \dots + n}{n}$$

- หาได้จากรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Average = Rq)

$$Rq = \sqrt{\frac{a + b + c + d + \dots + n}{n}}$$

เส้นอ้างอิง A – B หรือ Center Datum Line ในรูป เป็นตำแหน่งของเส้นข้อมูลมาตรฐานของพื้นผิว

1. การวัดความกลม (Roundness Measurement)

การวัดความกลมของชิ้นงานนั้นมีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น เพลา และ แบริ่ง มีวิธีการวัดความกลมอยู่ 3 วิธีใหญ่ ๆ ดังนี้

วิธีวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter Method)

เป็นการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานในหลายตำแหน่ง ดังรูป(a) การวัดแบบนี้จะเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการวัดและมักนิยมใช้กันมาก โดยวิธีการวัดจะใช้ไมโครมิเตอร์วัดหลาย ๆ จุดรอบชิ้นงานและหลาย ๆ ตำแหน่ง และนำเอาค่าที่วัดได้มากมาเปรียบเทียบความกลมว่าในแต่ละจุดที่วัดได้นั้น มีค่าแตกต่างกันโดยเฉลี่ยแล้วเท่าไร แต่วิธีนี้ไม่สามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนั้นจะกลมอย่างแท้จริง เพราะว่ามีงานบางชนิดที่มีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม ดังรูป (b) จะพบว่าไม่ว่าจะวัดในตำแหน่งใดก็จะมีค่าเท่ากัน

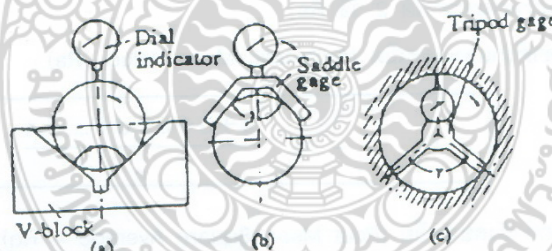


รูปการวัดความกลมโดยวิธีเส้นผ่าศูนย์กลาง

วิธีวัด 3 จุด (Three Point Method)

การวัดแบบนี้จะเหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ ๆ อุปกรณ์ที่ใช้คือ วี - บล็อก หรือ แซดเดิล - กจ (Saddle gauge) และนาฬิกาวัด (Dial Indicator) วิธีการก็คือ นำชิ้นงานมาวางลงบนวี - บล็อก และใช้นาฬิกาวัดด้านบนโดยที่ต้องหมุนชิ้นงานไปเรื่อย ๆ แล้วสังเกตเข็มบนหน้าปัดของนาฬิกาวัด ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร ดังรูป

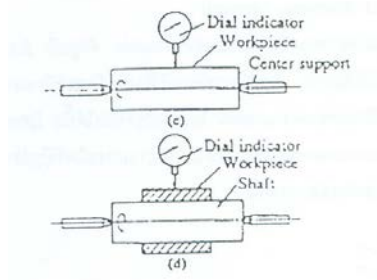
วิธีการวัดแบบ 3 จุดนี้ก็อาจจะไม่ค่อยแม่นยำนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปหน้าตัดของชิ้นงานด้วย



รูปแสดงการวัดด้วยวิธี 3 จุด

วิธีรัศมี (Radius Method)

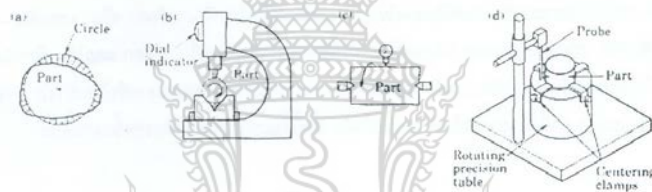
การวัดแบบวิธีรัศมีนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบแท่นหมุน (Turntable Type) และแบบหมุนอุปกรณ์ตรวจหา (Rotation Detector Type) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ จะมีความแม่นยำในการวัดค่าความกลมสูงมาก เพราะชิ้นงานหมุนรอบโดยมีเซนเตอร์เดียวกัน และอุปกรณ์การวัดก็ถูกยึดอยู่กับที่ ทำให้ได้ค่าออกมาแม่นยำสูง วิธีนี้ชิ้นงานที่นำมาทำการวัดจะถูกยึดกับศูนย์ที่ปลายทั้ง 2 ด้านในแนวแกน ดังรูปการวัดจะทำการหมุนชิ้นงานโดยที่ผิวของชิ้นงานจะสัมผัสกับนาฬิกาวัด แล้วคอยสังเกตเข็มของนาฬิกาวัด



รูปการวัดความกลมด้วยวิธีรัศมี

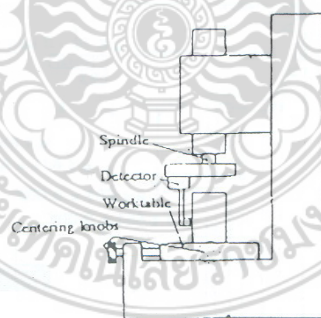
ในปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวัด ทำให้สามารถวัดได้แม่นยำ และมีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งนอกจากจะวัดชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอกแล้ว ยังสามารถวัดชิ้นงานทรงกลมได้อีกด้วย มีระบบการวัดอยู่ 2 ระบบ คือ

- ระบบแท่นหมุนวัด (Turntable System) การวัดชิ้นงานจะถูกวางอยู่บนแท่นวัด ที่มีความเที่ยงตรงสูงซึ่งหมุนรอบตัวเอง โดยที่ปลายของชุดตรวจวัด (Probe) จะสัมผัสกับผิวของชิ้นงานตลอดเวลา ชุดตรวจวัดสามารถปรับระยะการวัดในแนวรัศมีได้ ดังรูป



รูปการวัดด้วยระบบแท่นหมุนวัด

- ระบบชุดตรวจวัดหมุน (Detector Turning System) ระบบนี้ชิ้นงานจะถูกยึดอยู่กับที่ ซึ่งก่อนที่ทำการวัดต้องปรับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของโต๊ะงานก่อน แล้วจึงปรับชุดตรวจวัดซึ่งยึดติดอยู่กับแกนหมุน (Spindle) มาสัมผัสกับผิวของชิ้นงาน โดยการวัดชุดตรวจวัดจะหมุนอยู่ในแนวรัศมี ดังรูป

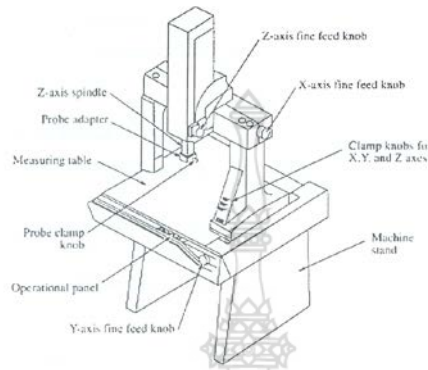


รูปการวัดด้วยระบบชุดตรวจวัดหมุน

การวัดแบบแกนร่วม 3 มิติ (Coordinate Measurement machine : CMM)

เป็นเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดเที่ยงตรง และรวดเร็ว สามารถวัดงานได้ในลักษณะ 3 มิติ การทำงานใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่และบันทึกผลการวัด การวัดจะนำชิ้นงานวางบนโต๊ะงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าต้องการจะวัดงานลักษณะใด เช่น การวัดระยะ การวัดมุม และการวัดความเบี่ยงเบนทางเรขาคณิตต่าง ๆ ดังรูป

CMM ถูกนำมาใช้ในงานด้านการวัดขนาดอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.25 μm และควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ บางครั้งชิ้นงานมีผิวขรุขระ อุณหภูมิค่อนข้างสูง หรือค่อนข้างสกปรก และมีรูปร่างที่สลับซับซ้อนก็สามารถใช้ CMM วัด หรือทำการตรวจสอบได้ ในปัจจุบัน CMM ได้มีการออกแบบไว้อย่างกว้างขวาง จึงสามารถวัดงานได้ทั้งงานที่มีขนาดเล็ก และขนาดใหญ่



รูป แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Coordinate Measurement Machine

ในรูปแสดงให้เห็นถึงผลของการวัดขนาดของประตั้นแปร็งของเครื่องบินเจ็ท ซึ่งใช้เวลาในการวัด และแสดงผลทั้งหมด 2.5 วินาที



รูปแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วย CMM

การทดสอบแบบทำลาย (Destructive Test)

การทดสอบแบบทำลาย เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ก่อนที่เราจะนำชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน (Sample) หรือทำชิ้นทดสอบ (Specimen) ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง แล้วทำการทดสอบหาค่าตามต้องการ ชิ้นงานที่ทำการทดสอบจะเกิดความเสียหาย จนไม่สามารถที่จะนำกลับไปใช้งานได้ เนื่องจากการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เราจำเป็นต้องหาค่าความต้านทานสูงสุด ก่อนที่วัสดุนั้นจะเกิดความเสียหาย และนำค่าที่ได้นั้นนำไปใช้ในการออกแบบ กระบวนการทดสอบแบบทำลายมีอยู่หลายชนิด ดังต่อไปนี้

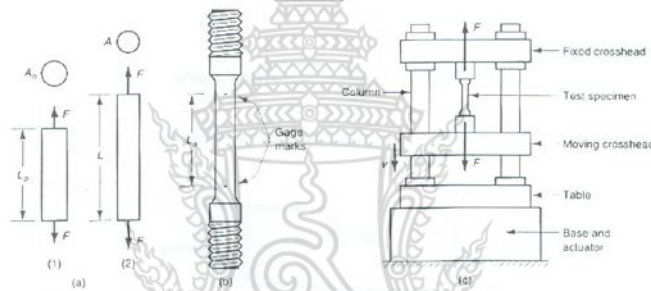
การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด โดยการดึงด้วยแรงที่สม่ำเสมอ ทำให้ชิ้นทดสอบมีความยาวเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง ในรูปแสดงลักษณะของชิ้นทดสอบ และการดึงชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ

การทดสอบแรงดึงเป็นมาตรฐานการทดสอบเพื่อกำหนดคุณลักษณะต่าง ๆ และความแข็งแรงของวัสดุที่จะนำไปออกแบบและนำไปใช้งาน

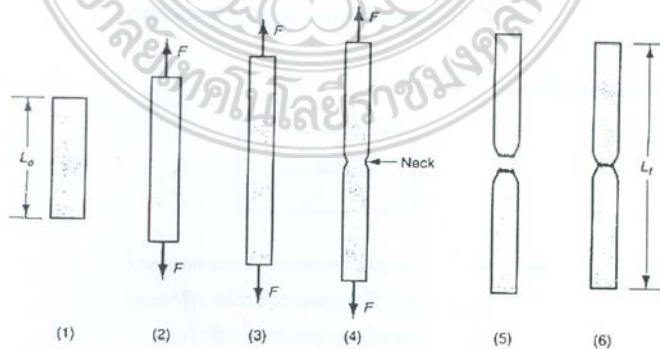
สำหรับการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) มีจุดประสงค์ในการทดสอบดังนี้คือ

1. เพื่อหาความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)
2. เพื่อหาความเค้นคราก (Yield Stress)
3. เพื่อหาขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)
4. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation)



รูปแสดงชิ้นทดสอบและวิธีการทดสอบ

การทดสอบเริ่มจากการวัดขนาดของชิ้นทดสอบ คือ ความยาว (L_0) ซึ่งจะกำหนดอยู่ในช่วงที่ใช้ทดสอบ (Gage Mark) และพื้นที่หน้าตัด (A_0) ชิ้นทดสอบเมื่อได้รับแรงดึงรูปร่างก็จะเปลี่ยนไป ดังรูป(1) ชิ้นทดสอบก่อนการดึง (2) รับแรงดึงความยาวจะเพิ่มขึ้นแต่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง (3) ความยาวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ออกแรงดึงมากขึ้น (4) เริ่มปรากฏเห็นรอยขาด (Neck) (5) ชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน (6) นำชิ้นทดสอบมาต่อกันเพื่อทำการวัดความยาว



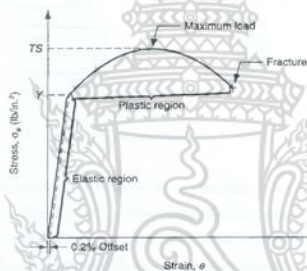
รูปแสดงสภาวะต่างๆ ของชิ้นทดสอบเมื่อได้รับแรงดึง

ในระหว่างทำการทดสอบจะมีการบันทึกค่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับ ความเครียด (Strain) ซึ่งเส้นโค้ง (Curve) ที่ปรากฏจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ Engineering Stress-Strain และ True Stress-Strain

Engineering Stress-Strain มีความสำคัญมากเพราะใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงใช้ค่า ความยาว และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ ก่อนการดึงมาใช้โดยไม่ต้องคำนึงถึงว่า ขณะดึงชิ้นงานจะมีการ เปลี่ยนแปลงอย่างไร ดังรูปและสมการของ Engineering Stress

$$\sigma_e = \frac{F}{A_0}$$

- เมื่อ σ_e หมายถึง Engineering Stress (MPa)
 F หมายถึง แรงที่ใช้ดึง (N)
 A_0 หมายถึง พื้นที่หน้าตัดก่อนการดึง (mm^2)



รูปความสัมพันธ์ของ Engineering Stress-Strain

ส่วน Engineering Strain หาได้จากสมการ

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

- เมื่อ e หมายถึง Engineering Strain (mm/mm)
 L หมายถึง ความยาวภายหลังการดึง (mm)
 L_0 หมายถึง ความยาวก่อนการดึง (mm)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด ดังรูปที่ 8.20 แสดงให้เห็นพฤติกรรม 2 ลักษณะ คือ Elastic กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และ Plastic กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ช่วง Elastic ไม่ว่าจะออกแรงดึงชิ้นทดสอบเท่าไร แล้วปล่อยแรงออก ขนาดชิ้นทดสอบนั้น ๆ จะเปลี่ยนแปลงตามกฎของ ฮุก (Hook's Law) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด ดังสมการ

$$\sigma_e = Ee$$

- เมื่อ E หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของความยืดหยุ่น (MPa)

ค่า E เป็นค่าคงที่ และวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน เช่น เหล็กมีค่าเท่ากับ 209×10^3 MPa ทังสแตน มีค่า 407×10^3 MPa ตะกั่ว 21×10^3 MPa เพชร 1035×10^3 MPa ไนลอน 3.0×10^3 MPa และโพลีเอทิลีน 0.2×10^3 MPa เป็นต้น

เมื่อดึงขึ้นทดสอบค่าของความเค้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ กราฟจะแสดงให้เห็นเป็นเส้นตรง หลังจากนั้น กราฟจะเริ่มเป็นเส้นโค้งนั่นหมายถึง ขึ้นทดสอบได้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวรแล้ว (ช่วง Plastic) ดังนั้นบริเวณช่วงต่อของ Elastic กับ Plastic เรียกว่า จุดคราก (Yield Point : Y หรือ Yield Strength หรือ Yield Stress หรือ Elastic Limit) วัสดุบางชนิดสามารถจุดครากได้ง่าย แต่บางชนิดหาค่าไม่ได้ เพราะกราฟอาจเป็นเส้นโค้งตลอด จึงนิยมใช้วิธีเลื่อนระยะการยืดตัวจากตำแหน่งเริ่มต้น ออกไป 0.2% แล้วลากเส้นขนานกับเส้นกราฟ จนไปตัดกัน ดังรูป

แรงดึงสูงสุด (F_{max}) สามารถนำไปคำนวณหาค่า Tensile Strength (TS) ได้จากสมการ

$$TS = \frac{F_{max}}{A_o}$$

ทั้ง TS และ Y มีความสำคัญต่อการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน

จากการที่โลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ความเหนียวก็เป็นคุณสมบัติที่ต่างกัันด้วย ซึ่งหาได้ในลักษณะของอัตราการยืดตัว (Elongation : EL) และอัตราที่พื้นที่หน้าตัดลดลง (Area Reduction : AR) การยืดตัวหาได้จากสมการ (นิยมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์)

$$EL = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

เมื่อ L_f หมายถึง ความยาวภายหลังการขาด (mm)
 L_o หมายถึง ความยาวก่อนการทดสอบ (mm)

การลดของพื้นที่หน้าตัดหาได้จากสมการ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์)

$$AR = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

เมื่อ A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดบริเวณจุดขาด (mm^2)
 A_o หมายถึง พื้นที่หน้าตัดก่อนการทดสอบ (mm^2)

True Stress-Strain เป็นการนำค่าของความยาว และพื้นที่หน้าตัดที่เป็นจริงในขณะทำการทดสอบมาใช้คำนวณหาค่า Stress ดังนั้นค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Engineering Stress True Stress หาได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- เมื่อ σ หมายถึง True Stress (MPa)
 F หมายถึง แรง (N)
 A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดจริงขณะทดสอบ (mm^2)

ส่วน True Strain เป็นการประเมินที่ให้ค่าความจริงได้มากกว่า หาได้โดยการแบ่งการยืดตัวทั้งหมดออกให้เพิ่มขึ้นทีละส่วนเล็กๆ ดังสมการ และความสัมพันธ์ ดังรูป

$$\epsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}$$

- เมื่อ ϵ หมายถึง True Strain (mm/mm)



รูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ของ True Stress-Strain ความเครียดในช่วงของ Plastic มีความสำคัญมาก เพราะทั้ง Engineering และ True มีความแตกต่างกัน แต่สามารถนำมาหาความสัมพันธ์กันได้ดังสมการ

$$\epsilon = \ln(1 + e)$$

ในทำนองเดียวกัน ความเค้นของ Engineering และ True ก็นำมาหาความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\sigma = \sigma_0(1 + e)$$

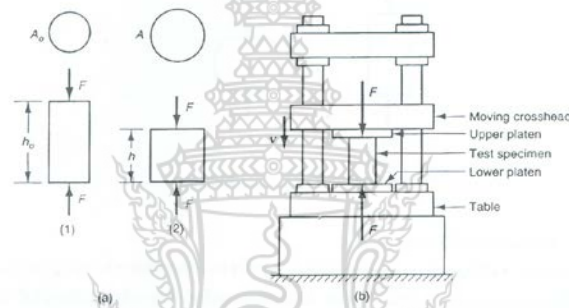
การทดสอบแรงอัด (Compression Test)

ชิ้นส่วนทุกชนิดที่นำไปใช้งานที่ต้องอยู่ใต้ภาวะแรงอัด ในการออกแบบชิ้นส่วนจำเป็นจะต้องทราบค่าความต้านทานความเค้นอัดของวัสดุ จึงสามารถหาได้จากตารางมาตรฐานของวัสดุ หรือทำการทดสอบหาค่าความเค้นอัดได้ โดยการนำชิ้นทดสอบที่มีรูปร่างทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ถึง 30 มิลลิเมตรมารับแรงอัดอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ อยู่ระหว่างแผ่นกด 2 แผ่น ดังรูปภายหลังจากการกดอัดแล้ว ชิ้นทดสอบจะมีความยาวลดลง แต่พื้นที่หน้าตัดจะเพิ่มขึ้น ความเค้นและความเครียดหาได้จากสมการ

$$\sigma_c = \frac{F}{A_o} \quad e = \frac{h - h_o}{h_o}$$

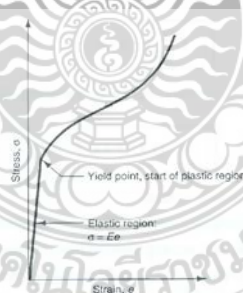
เมื่อ h หมายถึง ความสูงของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบ (mm)

h_o หมายถึง ความสูงของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ (mm)



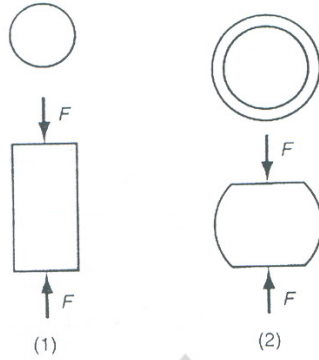
รูป (a) แสดงชิ้นงาน และ (b) เครื่องทดสอบแรงอัด

ค่าของความเครียดจะมีผลลัพธ์เป็นลบ เพราะแสดงว่าเกิดจากค่าของความเค้นแรงอัด ซึ่งไม่มีผลในการนำไปใช้งาน กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของการทดสอบแรงอัด แสดงในรูป



รูปกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของการทดสอบแรงอัด

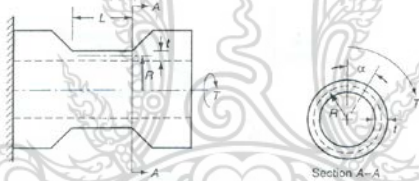
จะเห็นว่า ช่วง Plastic นั้น ค่าของความเค้น มีความแตกต่างกับการทดสอบแรงดึง เพราะว่าชิ้นทดสอบมีหน้าตัดเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้กดก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันความฝืด (Friction) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของชิ้นทดสอบ กับแผ่นกดบนและล่าง ก็ทำให้ค่าของความเค้นมากขึ้นด้วย ปรัชญาการณ์ดังกล่าวมีผลให้ชิ้นทดสอบมีลักษณะป่องกลาง ดังรูป



รูปชิ้นทดสอบก่อน และหลังการกด

การทดสอบแรงบิด (Torsion Test)

การทดสอบแรงบิดใช้ชิ้นทดสอบทำจากท่อที่มีผนังบาง ดังรูปเพื่อทดสอบหาค่าการเสียรูปของชิ้นงาน โดยนำชิ้นทดสอบที่มีรูปร่างภาพตัดขวางเป็นวงกลม สี่เหลี่ยม หรือหกเหลี่ยม มาจับยึดที่ปลายด้านหนึ่งยึดอยู่กับที่ และปลายอีกด้านหนึ่งใช้แรงหมุนบิดที่สามารถรับความเร็รรอบได้ เมื่อเพิ่มแรงในการหมุนบิด ชิ้นทดสอบจะเกิดการหมุนบิดหันเหไปจากแนวเดิมจนขาด ที่เครื่องหมายทดสอบจะทำการบันทึกค่ากำลังบิด (T) และมุมที่บิดไป (α) เพื่อนำไปคำนวณและเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นเฉือน และความเครียดเฉือน



รูปการทดสอบแรงบิด

ความเค้นเฉือน (Shear Stress : τ) หาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{T}{2\pi r^2 t}$$

- เมื่อ T หมายถึง กำลังบิด (N-mm)
- R หมายถึง รัศมีของท่อวัดจากเส้นผ่าศูนย์กลาง ถึงเส้นกึ่งกลางของความหนา (mm)
- t หมายถึง ความหนาของท่อ (mm)

ส่วนความเครียดเฉือน (Shear Strain : γ) หาได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{R\alpha}{L}$$

เมื่อ α หมายถึง มุมที่บิดไปจากเดิม (Radian)
 L หมายถึง ความยาวของร่องบาก (Gauge Length) mm.

รูปที่ 8.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นเฉือน และความเครียดเฉือน ซึ่งเกิดขึ้นในช่วง Elastic ดังสมการ

$$\tau = G\gamma$$

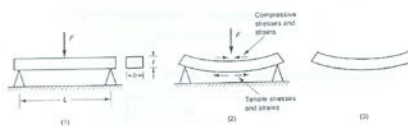
เมื่อ G หมายถึง Shear Modulus (MPa) มีค่าประมาณ 0.4E



รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และความเครียดเฉือน

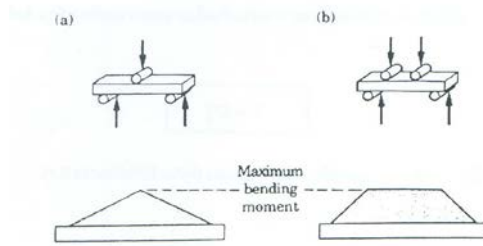
การทดสอบการดัดโค้ง (Bending Test)

การทดสอบวิธีนี้ใช้ทดสอบแผ่นวัสดุ เมื่อมีแรงมากกระทำจนเปลี่ยนรูปไป (Plastic) จะเกิดความเสียหายอย่างไร ดังรูปขึ้นทดสอบด้านที่ถูกแรงกระทำจะเกิดความเค้น และความเครียดในลักษณะการอัด ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเกิดในลักษณะการดึง



รูป การทดสอบการโก่งงอ

วิธีจับชิ้นงานทดสอบมี 2 วิธีคือ แบบ 3 จุด (รองรับ 2 จุด และกดจุดเดียว) อีกวิธีหนึ่งแบบ 4 จุด (รองรับ 2 จุด และกด 2 จุด) ดังรูป



รูปชนิดของการทดสอบ

ค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีนี้ เรียกว่า Transverse Rupture Strength หรือ TRS ซึ่งหาได้จากสมการ

$$TRS = \frac{1.5FL}{bt^2}$$

เมื่อ	TRS	หมายถึง	Transverse Rupture Strength (MPa)
	F	หมายถึง	แรงกด (N)
	L	หมายถึง	ระยะห่างระหว่างตัวรองรับ (mm)
	b	หมายถึง	ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)
	t	หมายถึง	ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

การทดสอบการโก่งของวัสดุ จะไม่นิยมใช้กับวัสดุที่มีความแข็งเปราะ เช่น เซรามิก เพราะมีความยืดหยุ่นน้อยมาก ผลที่ได้มักมีค่าคลาดเคลื่อน และที่สำคัญคือ เตรียมชิ้นทดสอบยากมาก แต่ก็มีผู้ที่ได้ศึกษาไว้บ้างแล้ว ดังตาราง

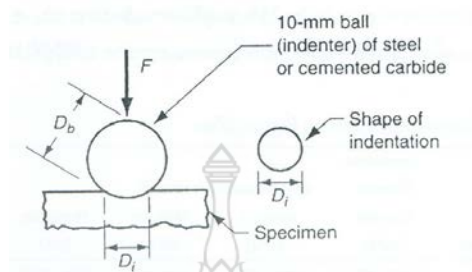
ทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การทดสอบความแข็งมีความจำเป็นมากในการเลือกใช้วัสดุ และการเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการผลิต เพื่อที่จะได้ชิ้นงานที่ทนต่อการสึกหรอ และเครื่องมืออายุการใช้งานที่ยาวนาน การทดสอบความแข็งกระทำได้หลายวิธี

- Brinell hardness Test หรือ HB นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งชิ้นงานที่เป็นโลหะ และอโลหะ เหมาะกับชิ้นทดสอบที่มีความแข็งต่ำจนถึงปานกลาง การทดสอบใช้ลูกบอลเหล็กแข็ง หรือ ลูกบอลเซรามิก ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโต 10 มม. กดลงบนผิวชิ้นทดสอบด้วยแรง 500 1,000 หรือ 3,000 กิโลกรัม ดังรูป แล้วคำนวณค่าความแข็งจากสมการ

$$HB = \frac{2F}{(\pi \cdot D_b)(D_b - \sqrt{D_b^2 - D_1^2})}$$

- เมื่อ F หมายถึง แรงที่ใช้กด (N)
 D_b หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลูกบอลเหล็ก (mm)
 D_1 หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางกลางรอยกด (mm)



รูป Brinell Hardness Test

สำหรับรอยบวมที่เกิดจากการกดนั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะดังรูปที่ 8.30 (a) รอยที่ปรากฏบนชิ้นงานอ่อนและ (b) เป็นรอยที่ปรากฏบนชิ้นงานแข็ง

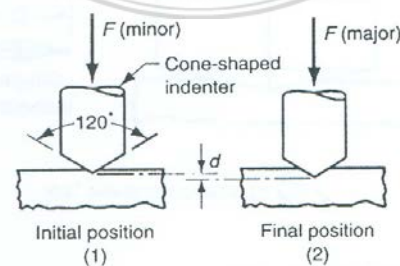


รูปชนิดของรอยกด

- Rockwell Hardness Test หรือ HR การทดสอบด้วยวิธีนี้สามารถอ่านค่าได้โดยตรง และเหมาะกับชิ้นงานเกือบทุกชนิด ซึ่งการใช้งานสามารถเลือกใช้ได้ตามชนิดของหัวกด และน้ำหนักกด ดังตาราง

สำหรับวิธีการทดสอบนั้น ขั้นตอนแรกจะให้แรงประมาณ 10 กิโลกรัม ทำการกดลงบนชิ้นทดสอบก่อน เพื่อกำหนดตำแหน่งของหัวกด กับชิ้นทดสอบ แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักตามสเกลที่ต้องการ ดังรูปจนไม่สามารถกดลงได้อีกจึงนำหัวกดขึ้น และอ่านค่าได้จากหน้าปัดของเครื่องทดสอบ

การทดสอบความแข็งด้วย Rockwell นั้น สเกลที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ HRA ใช้กับชิ้นทดสอบที่มีความแข็งมาก ๆ เช่น คาร์ไบต์ และเซรามิก ส่วน HRB นิยมใช้กับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะ นอกจำพวกเหล็ก และ HRC ใช้กับงานโลหะจำพวกเหล็ก และเหล็กเครื่องมือ

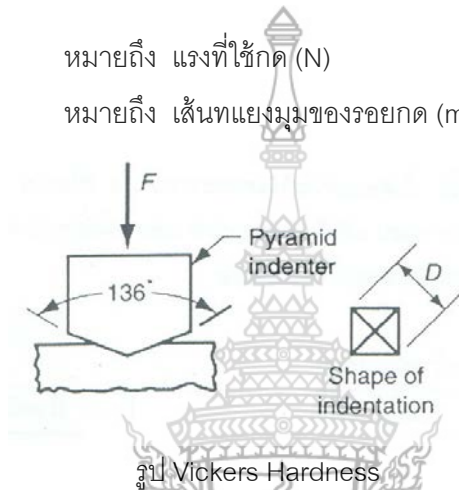


รูป Rockwell Hardness Test

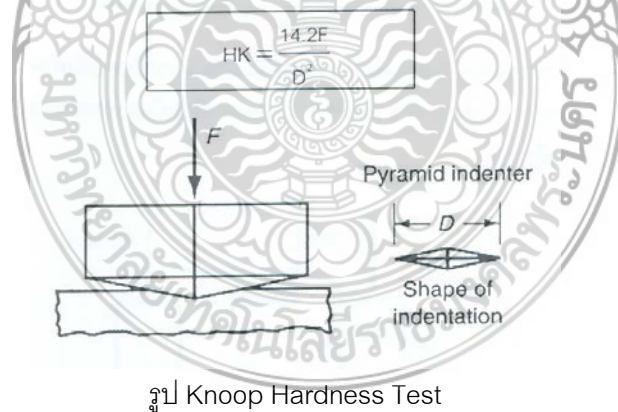
- Vickers Hardness Test หรือ HV หัวกดเป็นเพชรรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมยอด 136° น้ำหนักที่ใช้กดตั้งแต่ 1 - 120 กิโลกรัม ดังรูปที่ 8.32 ความแข็งหาได้จากสมการ

$$HV = \frac{1.854F}{D^2}$$

เมื่อ F หมายถึง แรงที่ใช้กด (N)
 D² หมายถึง เส้นทแยงมุมของรอยกด (mm)



- Knoop Hardness Test หรือ HK หัวกดทำจากเพชรรูปปิรามิด ดังรูปซึ่งมีเส้นทแยงมุมด้านยาวต่อด้านกว้างประมาณ 7 : 1 เหมาะกับงานทดสอบความแข็งที่มีขนาดเล็ก หรือชิ้นงานบาง ๆ และใช้ทดสอบชิ้นงานที่มีความแข็ง หรือความเปราะมาก ๆ โดยแรงที่ใช้กดอยู่ในช่วง 25 กรัม ถึง 5 กิโลกรัม และรอยกดจะมีขนาดระหว่าง 0.01 – 0.10 มม. ค่าความแข็งหาได้จากสมการ

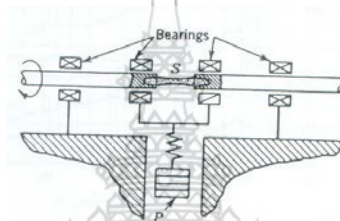


การทดสอบความล้า (Fatigue Test)

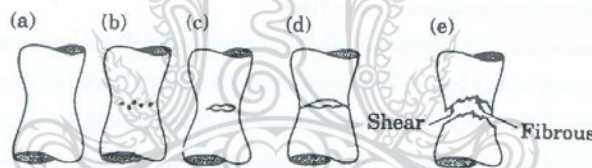
ความล้า (Fatigue) เป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุอยู่ภายใต้แรงกระทำซ้ำ ๆ กัน (Repeat Load) เช่น การดัดกลับไปกลับมา (Reverted Bending) หลายเที่ยวติดต่อกัน หรือการหมุนในลักษณะของการดัดไปด้วยขณะหมุน ซึ่งการกระทำเหล่านี้ทำให้ชิ้นส่วนได้รับแรงกระทำแบบซ้ำ และเกิดความเครียดแบบซ้ำแล้ว ซ้ำอีก จนถึงจุดหนึ่งที่เกินความสามารถที่วัสดุจะคงสภาพอยู่ได้ วัสดุจะเกิดการแตกหักและเสียหาย (Failure) ในที่สุด

วัตถุประสงค์ของการทดสอบความล้าคือ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของพฤติกรรมวัสดุ หรือโครงสร้างของวัสดุโดยการทำให้เกิดความเค้น (Stress) หรือ ความเครียด (Strain) โดยมีแรงกระทำตามเวลาที่เปลี่ยนไป ทำให้วัสดุเกิดความเค้นหรือความเครียด โดยนำผลทดสอบที่ได้ไปเป็นองค์ประกอบในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ภายใต้การเปลี่ยนแปลงต่างๆ และยังทำให้ทราบถึงคุณสมบัติในการต้านทานความล้า และขีดจำกัดความทนทาน (Endurance Limits) อีกด้วย

การทดสอบความล้า เป็นการทดสอบในสภาวะที่มีภาระนิ่ง (Static Load) จากภายนอกมากระทำ เช่น การดึง การอัด ค่าความเค้น หรือความเครียดที่ใช้ในการออกแบบจะไม่เกินจุดคราก (Yield Point) แต่ในสภาวะที่มีภาระไม่หยุดนิ่ง (Dynamic Load หรือ Cyclic Load) มากระทำ การทดสอบจะพิจารณาการเกิดความล้าของชิ้นทดสอบ โดยการนำชิ้นทดสอบจำลองการใช้งาน ให้เหมือนกับสภาวะการใช้งานจริง ๆ ดังรูปแล้วนับจำนวนรอบการทำงานว่ากี่รอบจึงจะแตกหัก



รูป การทดสอบความล้า

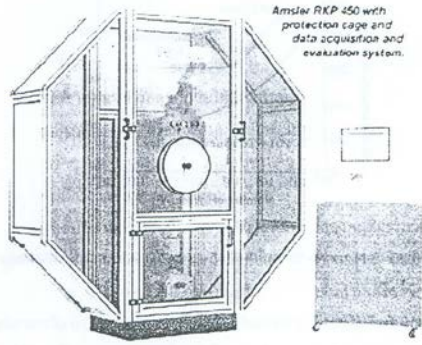


รูป ขั้นตอนการแตกหักเนื่องจากความล้า

การทดสอบการกระแทก (Impact Test)

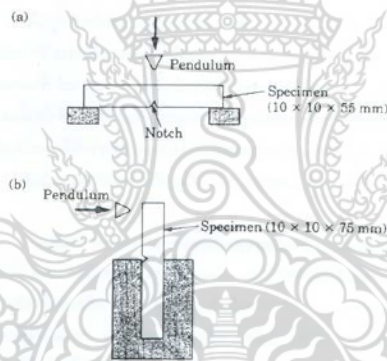
การทดสอบแรงกระแทกเป็นการทดสอบแรงที่มากระทำอย่างรวดเร็ว หรือภายในระยะเวลาสั้น ๆ ผลที่ได้จากการทดสอบจะเปลี่ยนไปตามสภาพของเนื้อโลหะที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เช่น การรีด การตี และการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งทำให้เนื้อโลหะที่ได้จากการขึ้นรูป มีลักษณะที่แตกต่างกัน ถ้าชิ้นทดสอบที่มีเนื้อตัดขวางการรีด รอยบากบนชิ้นทดสอบจะมีทิศทางขนานกับทิศทางของเส้นใย แต่ถ้าชิ้นงานทดสอบมีเนื้อตัด ไปทิศทางเดียวกับทิศทางการรีด เส้นใยและรอยบากตั้งฉากซึ่งกันและกัน ซึ่งจะมีผลต่อการแตกหักของชิ้นงานทดสอบด้วย

วัสดุเหนียวจะทนแรงกระแทกได้ดีกว่าวัสดุที่แข็งเปราะ ในการทดสอบการกระแทกส่วนใหญ่ก็เพื่อหาความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของวัสดุภายใต้แรงกระแทก เพราะในการออกแบบโครงสร้างของเครื่องจักรกล หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ จะต้องมีความแข็งแรงเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากมีแรงเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว เกิดพลังงานจลน์กระทบกับวัสดุ หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรนั้นไม่เพียงพอทำให้เกิดความเค้นขึ้น แต่ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานอีกด้วย คือ การถ่ายเท ดูดกลืน และแพร่กระจายพลังงานไปยังวัสดุ หรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอีกด้วย



รูป เครื่องทดสอบการกระแทก (Pendulum Machine)

การทดสอบแรงกระแทก กระทำโดยการนำชิ้นทดสอบมาทำรอยบาก (Notch) เป็นรูปตัววี (V) หรือตัวยู (U) แล้วจับยึดให้แน่น จากนั้นตีให้ชิ้นทดสอบขาดจากกันด้วยลูกตุ้ม (Pendulum) การทดสอบมี 2 แบบ คือ แบบ Charpy ชิ้น ทดสอบจะถูกยึดที่ปลายทั้งสองด้าน แล้วใช้ลูกตุ้มเหวี่ยงตีตรงด้านหลังของรอยบาก ดังรูป(a) และแบบ Izod ชิ้นทดสอบจะถูกยึดเพียงด้านเดียว โดยยึดตรงกึ่งกลางของรอยบากแล้วใช้ลูกตุ้มเหวี่ยงตีปลายอีกด้านหนึ่งด้านเดียวกับรอยบาก ดังรูป (b)



รูปการทดสอบแรงกระแทก

ผลจากการใช้ลูกตุ้มตีชิ้นทดสอบ พลังงานของลูกตุ้มจะถูกชิ้นทดสอบดูดซึมไว้ ทำให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลดลง วัสดุที่มีความเหนียวสูง และแข็งแรงมากจะมีความสามารถดูดซึมพลังงานได้ดีกว่า พลังงาน (Energy : E) มีหน่วยเป็นจูล หาได้จากสมการ

$$E = M(\cos\beta - \cos\alpha)$$

- เมื่อ M หมายถึง โมเมนต์ของลูกตุ้ม (N.m)
- β หมายถึง มุมตกของลูกตุ้ม
- α หมายถึง มุมยกขึ้นของลูกตุ้มภายหลังจากตีชิ้นทดสอบ

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test)

ถึงแม้ว่าการทดสอบแบบทำลายจะเป็นวิธีการทดสอบที่ถูกต้องแน่นอนที่สุด เนื่องจากสามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้ แต่ทว่าการทดสอบแบบทำลายดังกล่าว นั้น จะทำให้วัสดุ อุปกรณ์ หรือโครงสร้างเกิดการแตกหักเสียหายใช้งานอีกไม่ได้ ซึ่งในบางกรณีเราจำเป็นต้องใช้วัสดุชิ้นนั้นอยู่อีก คงไม่สามารถทดสอบด้วยวิธีแบบทำลายได้ จึงอาศัยการทดสอบแบบไม่ทำลายในการประเมินรอยบกพร่อง หรือความแข็งแรงของวัสดุ อุปกรณ์แทนการทดสอบแบบทำลาย

การทดสอบแบบไม่ทำลายเป็นการทดสอบชิ้นงาน โดยไม่ก่อให้เกิดรอยขีดข่วน การแยกส่วน หรือการแตกหักเสียหาย กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือการตรวจสอบลักษณะสมบัติ สมรรถภาพ โครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่อง ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection)

การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นวิธีการหนึ่งที่ย่าง แต่ข้อสำคัญต้องสรุปผลอย่างระมัดระวังเพราะว่าการดูด้วยตาเพียงอย่างเดียวไม่สามารถยืนยันได้ว่า ภายใตผิวงานนั้นมีความสมบูรณ์หรือมีตำหนิเล็กน้อยเพียงใด

การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ผู้ทำการตรวจสอบต้องมีประสบการณ์มากพอ จึงจะทราบได้ว่าตำหนิที่ปรากฏอยู่บนผิวงานนั้น ๆ ให้ผลเป็นอย่างไร การตรวจสอบกระทำได้ง่าย รวดเร็ว และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษอื่นใดช่วย แต่ผู้ตรวจสอบจะต้องมีความคุ้นเคยเรื่องมาตรฐาน เอกสารอ้างอิง และมีประสบการณ์ภาคปฏิบัติที่ดี ขณะทำการตรวจสอบต้องแน่ใจว่าบริเวณนั้นมีแสงสว่างเพียงพอ และบางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้แว่นขยายเพื่อช่วยให้การตัดสินใจดีขึ้น

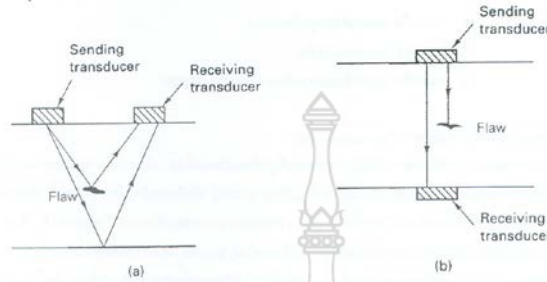
ความสะอาดของชิ้นงานก่อนการตรวจสอบมีความสำคัญมาก เพราะถ้าชิ้นงานสกปรกการตรวจสอบก็จะกระทำได้ยาก แต่การทำความสะอาดชิ้นงานต้องกระทำอย่างระมัดระวัง มิฉะนั้นอาจทำให้เนื้อของชิ้นงานเสียรูป (กรณีเป็นวัสดุอ่อน) และเกิดรอยตำหนิที่มีอยู่จนไม่สามารถตรวจพบวิธีการทำความสะอาดที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ได้แก่ การใช้ค้อนเคาะ การขัดด้วยแปรงลวดที่ทำด้วยเหล็ก และการยิงด้วยเม็ดเหล็ก (Shot Blast) เป็นต้น

การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตราโซนิก (Ultrasonic Testing)

การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตราโซนิก เป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ที่มีประสิทธิภาพสูงกรรมวิธีหนึ่งในการตรวจสอบหารอยร้าว สิ่งบกพร่อง การกัดกร่อนในวัสดุ เป็นต้น ความถี่ของคลื่นเสียงอุลตราโซนิก หมายถึง คลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน ซึ่งมีความถี่สูงกว่า 20 KHZ ความถี่ที่ใช้ในการตรวจสอบวัสดุโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 15 KHZ กรรมวิธีการตรวจสอบด้วยอุลตราโซนิก มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ วิธีพัลส์เอคโค วิธีให้คลื่นส่งผ่าน และวิธีเรโซแนนท์ นามวิธีนี้ วิธีที่นิยมมากที่สุดคือ วิธีพัลส์เอคโค (Pulse Echo Method) ซึ่งทำได้โดยการส่งผ่านคลื่นเสียงเข้าไปในชิ้นงานทดสอบและความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานทดสอบ โดยการประเมินผลจากคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับจากบริเวณพื้นที่ขอบเขตหรือสิ่ง

บัพพร้อม เวลาที่คลื่นเสียงเดินทางใช้แทนความลึกของตัวสะท้อนความแรงของสัญญาณสะท้อนใช้แทนความสามารถในการสะท้อนของตัวสะท้อนที่ค้นพบ

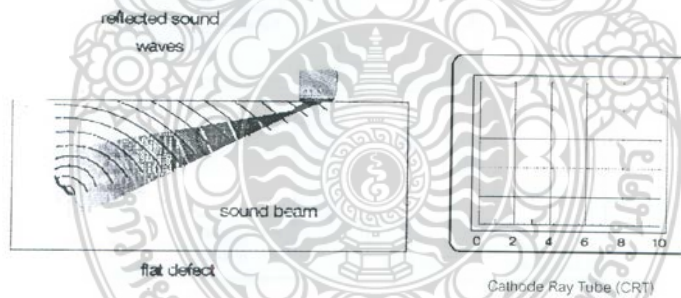
ความเร็วในการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกนั้น จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางนั้น ๆ สำหรับคลื่นยาว (Longitudinal Wave) สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ของวัสดุได้ เช่น เหล็กกล้า = 5,920 m/s อะลูมิเนียม = 6,300 m/s เป็นต้น วัสดุต้องเป็นเนื้อเดียวกันตลอด



รูปหลักการตรวจหาสิ่งบกพร่องในเนื้อวัสดุ

หลักการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก

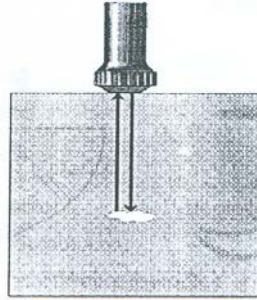
เมื่อส่งคลื่นเสียงอัลตราโซนิกแบบพัลส์ โดยใช้หัวตรวจสอบส่งเข้าไปในชิ้นงานที่มีผิวสองด้านขนานกัน พัลส์ที่ส่งออกไปก็จะสะท้อนที่จุดบัพพร้อมหรือผิวตรงกันข้ามกลับมายังหัวตรวจสอบ ซึ่งจะถูกรับไว้ขนาดของคลื่นสะท้อนกลับออกมาทำให้สามารถคำนวณหาความลึกของรอยร้าวได้ ผลจากการตรวจสอบหารอยบกพร่อง จะถูกแสดงเป็นรูปสองมิติในจอ Cathode Ray Tube (CRT) คือ การแสดงผลที่แกนอนของกราฟจากซ้ายไปขวา หมายถึง เวลาที่คลื่นเสียงผ่านไปและแกนตั้งของกราฟแสดงถึงขนาดหรือความเข้มของสัญญาณสะท้อน



รูป หลักการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก

การส่งคลื่นเสียงตั้งฉาก (Normal Beam Testing)

เมื่อวางหัวตรวจสอบสัมผัสลงบนผิวชิ้นงาน หัวตรวจสอบจะถึงพัลส์คลื่นเสียงเป็นมุมตั้งฉากกับผิวชิ้นงานผ่านเข้าไปในชิ้นงาน และจะสะท้อนจากผิวด้านตรงกันข้าม ถ้าชิ้นงานมีผิวขนาน และถ้าชิ้นงานมีจุดบัพพร้อมที่ขนานกับผิวคลื่นเสียงก็จะสะท้อนกลับมายังหัวตรวจสอบ และเรื่องก็จะแสดงสัญญาณที่จอเครื่อง ซึ่งก่อนทำการตรวจสอบจะต้องทำการปรับตั้งเครื่อง (Calibration) ก่อน การปรับตั้งเครื่องจะเป็นการกำหนดช่วงระยะทางตรวจสอบวัสดุสำหรับความกว้างทั้งหมดของจอภาพ ช่วงระยะทางนี้ เรียกว่า ช่วงตรวจสอบ (Test Range) โดยเปรียบเทียบกับแท่งมาตรฐานที่มีผิวขนาน ที่ทราบค่าความหนาและทำจากวัสดุชนิดเดียวกับชิ้นทดสอบ



รูปวิธีการปรับตั้งเครื่องด้วยหัวฉาก

การส่งคลื่นเสียงเป็นมุม (Angle Beam Testing)

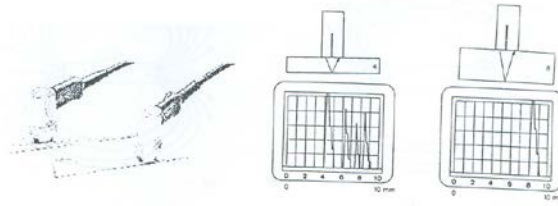
จุดบกพร่องในชิ้นงานอาจวางท่ามุมกับผิวหน้าชิ้นงาน ซึ่งถ้าเราใช้หัวตรวจสอบแบบตั้งฉากคลื่นเสียงจะไม่สะท้อนกลับไปยังหัวตรวจสอบ จำเป็นต้องใช้หัวตรวจสอบแบบมุม (Angle Beam Probe) เพื่อที่จะส่งคลื่นอุลตราโซนิกเป็นมุมเข้าไปในชิ้นงานนั้น ตามมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ตรวจสอบเหล็กกล้า มีมุมดังนี้ 35° 45° 60° 70° และ 80° ก่อนทำการตรวจสอบต้องทำการปรับตั้งเครื่อง (Calibration) กับแท่งมาตรฐานแบบครึ่งวงกลมทรงกระบอก ซึ่งจำเป็นต้องใช้เอคโคอย่างน้อย 2 เอคโค ในการปรับตั้งเครื่อง เอคโคแรกจะเกิดจากการสะท้อนครั้งแรกที่ผิวโค้ง ระยะทางเสียงจะเท่ากับความเร็วของแผ่นครึ่งวงกลมเอคโคที่สองเสียงจะต้องวิ่งไปมาอีกสองครั้ง ดังนั้น เอคโคที่สองจึงอยู่ห่างจากเอคโคแรกเป็นสามเท่าของรัศมีครึ่งวงกลม ดังรูป



รูป การปรับตั้งเครื่องหัวตรวจสอบมุมกับแท่งมาตรฐานครึ่งวงกลม

- การส่งคลื่นเสียงด้วยหัวตรวจสอบทีอาร์ (TR – Probe)

หัวตรวจสอบทีอาร์ จะมีผลึกสองอันวางแยกจากกันด้วยแผ่นกั้นเสียง และบรรจุรวมกันเป็นปลอกทรงกระบอกวางท่ามุมเอียงเข้าหากันเล็กน้อยซึ่งอยู่ระหว่าง 0° ถึง 12° ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ผลึกทั้งสองทำหน้าที่ต่างกันคือ ผลึกด้านหนึ่งทำหน้าที่ส่งคลื่นเพียงอย่างเดียว อีกด้านหนึ่งทำหน้าที่รับคลื่นเสียง การปรับตั้งหัวตรวจสอบทีอาร์จะใช้แท่งมาตรฐาน VW หรือเรียกว่าแท่งชั้นบันได โดยเลือกชั้นของแท่งมาตรฐานที่เหมาะสมซึ่งจอยู่ในช่วงที่ต้องการปรับทั้ง 2 ชั้น อันดับแรกให้วางหัวตรวจสอบไว้บนชั้นที่มีความหนาแน่นและปรับเลื่อนเอคโคหลังที่ 1 ให้อยู่ในตำแหน่งสากล จากนั้นวางหัวตรวจสอบในชั้นความหนาแน่นมากกว่า และปรับตำแหน่งสากลให้ถูกต้อง และให้ทบทวนทั้งสองชั้นตอนอีกครั้งจนกระทั่ง เอคโคทั้งสองอยู่บนตำแหน่งสากลที่ถูกต้องที่สุด

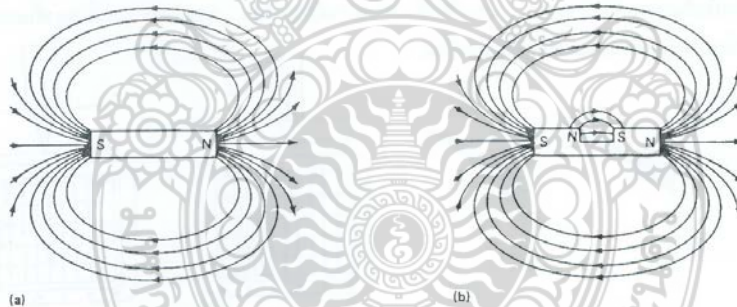


รูป การปรับตั้งเครื่องสำหรับหัวตรวจสอบทีอาร์

การทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing)

เมื่อวัตถุจำพวกที่เกิดอำนาจแม่เหล็กได้หรือ Ferro Magnetic ตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก วัตถุจะถูกเหนี่ยวนำและจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux) ขึ้น ถ้าทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กถูกขัดขวางด้วยรอยแตกหรือรอยร้าวที่เกิดขึ้นที่ผิวหรือบริเวณใต้ผิวของวัตถุนั้นที่ตั้งฉากกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนไม่สามารถไหลลัดผ่านตำแหน่งรอยแตกร้าวได้ ในที่สุดเส้นแรงแม่เหล็กเฉพาะส่วนนั้นจะเกิดการรั่วไหลยังเกิดเป็นขั้วแม่เหล็กขึ้นที่รอยแตกร้าวทั้งสองฝั่ง เกิดเป็นสนามแม่เหล็กย่อยขึ้น

เมื่อทำการโรยผงแม่เหล็กลงบนวัตถุที่ทำการทดสอบ ผงแม่เหล็กจะถูกเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กย่อยที่เกิดขึ้นดังกล่าว และถูกดูดติดกับรอยแตกร้าว นั้น สามารถบอกถึงตำแหน่ง ขนาด รูปร่างของรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผิวหน้างานและบริเวณใต้ผิวที่ไม่ลึกมากนักประมาณ 2-3 mm.

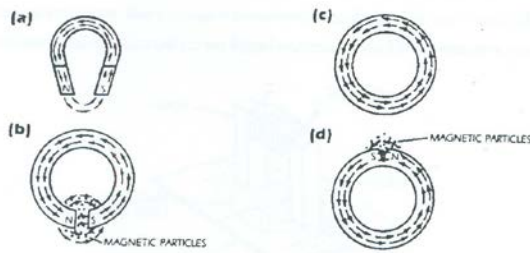


รูปแสดงการเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กในวัตถุ

จากรูปรูป (a) แสดงสนามแม่เหล็กในชิ้นงานที่ไม่มีตำหนิหรือจุดบกพร่อง รูป (b) แสดงสนามแม่เหล็กในชิ้นงานที่มีตำหนิหรือจุดบกพร่องอยู่

สนามแม่เหล็กวงกลม (Circular magnetic)

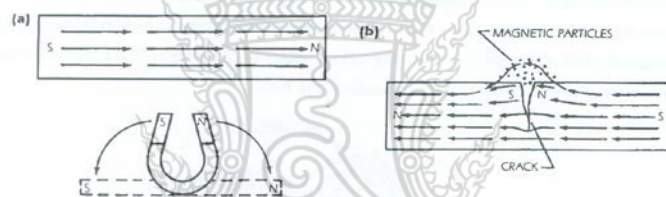
เมื่อนำเอาแท่งแม่เหล็กที่มีขั้วเหนือ - ขั้วใต้ที่แน่นหนาติดให้เป็นวงแหวน แท่งแม่เหล็กวงแหวนนี้จะไม่แสดงอำนาจออกมา เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางเป็นวงกลม เพราะว่าไม่มีขั้วเหนือ - ขั้วใต้ กรณีที่เกิดเป็นช่องอากาศหรือรอยแตกร้าวจึงจะเกิดขั้วเหนือ - ขั้วใต้ และแสดงอำนาจแม่เหล็กออกมาที่บริเวณนั้น ดังรูป



รูป แสดงสนามแม่เหล็กแบบวงกลม

สนามแม่เหล็กตามยาว (Longitudinal Magnetization)

แท่งแม่เหล็กจะมีขั้วเหนือ - ขั้วใต้ที่ปลายทั้งสองเสมอ ลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งตามแนวยาวระหว่างขั้วทั้งสองจากขั้วใต้ (S) ไปหาขั้วเหนือ (N) ถ้าแท่งแม่เหล็กเกิดมีรอยแตกหรือร้าวขีดขวางการวิ่งของเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux Leak) ขึ้น เกิดเป็นขั้วใหม่ และแสดงอำนาจแม่เหล็กออกมา ณ บริเวณนั้น แท่งแม่เหล็กที่มีขั้วต่างกันจะดูดติดกันและถ้าเป็นขั้วเหมือนกันจะผลักกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแม่เหล็ก



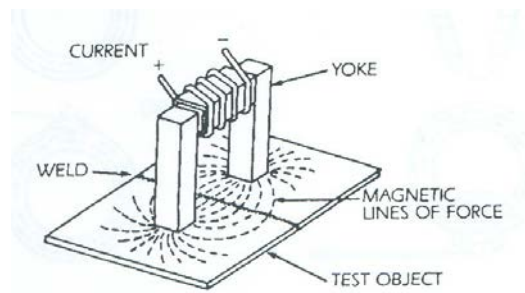
รูป สนามแม่เหล็กตามยาว

การทำชิ้นงานให้เป็นสนามแม่เหล็ก

การทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ชิ้นงาน ทำได้โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องมือเหนี่ยวนำซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี การเหนี่ยวนำจำเป็นต้องให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดกับทิศทางของรอยแตกหรือร้าวให้มากที่สุด ถ้าทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กกับทิศทางรอยแตกหรือร้าวจะไม่เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Flux Leak) ขึ้นได้ ในทางปฏิบัติสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กตัดกับรอยแตกหรือร้าวที่ทำมุม 90° ถึงมุม 45° จึงไม่สามารถตรวจพบรอยบกพร่องนั้น เครื่องมือเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ได้แก่

1) Magnetic Yoke

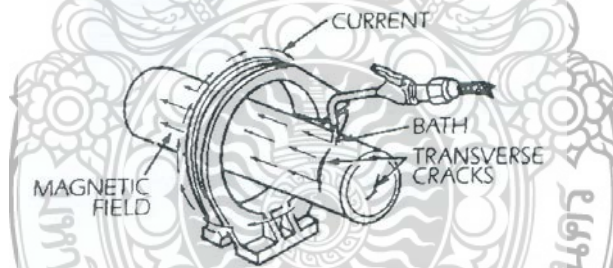
การเหนี่ยวนำโดยใช้ Yoke ให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กบนชิ้นงานนั้น เส้นแรงแม่เหล็กจะวิ่งจากขาของ Yoke จากข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่งเป็นลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กตามยาว Yoke ที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่สองแบบ คือ Yoke ที่เหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrically Energized Yoke) ขาของ Yoke มีทั้งแบบปรับระยะได้และปรับไม่ได้ มีสวิตช์ปิด - เปิด จ่ายต่อการใช้งาน และ Yoke ที่เป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnetic Yoke) ความเข้มของสนามแม่เหล็กไม่สามารถปรับได้ และไม่สามารถตรวจงานที่มีพื้นที่กว้างและขนาดใหญ่ได้ เพราะว่สนามแม่เหล็กไม่เพียงพอในการเหนี่ยวนำ



รูปการเหนี่ยวนำโดย Magnetic Yoke

2) Coil Magnetic

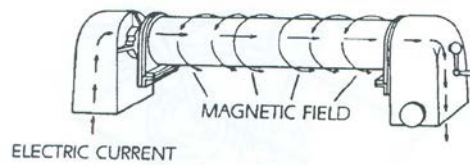
กระแสไฟฟ้าที่ไหลตามเส้นลวดหรือ Coil จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กตามยาวบนชิ้นงาน ทิศทางที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามกฎมือขวา ปริมาณความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณแรง กระแสไฟฟ้า และจำนวนรอบของขดลวดที่พันรอบชิ้นงาน การเหนี่ยวนำโดยวิธีนี้จะเหมาะกับชิ้นงานที่เป็น เพลากลมหรือท่อ เมื่อต้องการตรวจหารอยแตกกว้างที่ผิวด้านนอกของชิ้นงาน ในการทำงานผู้ปฏิบัติงาน สามารถเลือกปฏิบัติได้สองลักษณะคือ ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือรูปร่างซับซ้อน ไม่สามารถสอดผ่านได้ ให้ ใช้สายเคเบิลพันรอบชิ้นงานแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก อีกวิธีหนึ่ง ชิ้นงานที่มีรูปร่างทรงมาตรฐานสามารถใช้ได้กับชุด Coil ที่ทำสำเร็จไว้แล้ว โดยสอดชิ้นงานเข้าช่องของขดลวด แล้วทำการเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูป



รูป การเหนี่ยวนำโดย Coil Magnetic

3) Current Flow

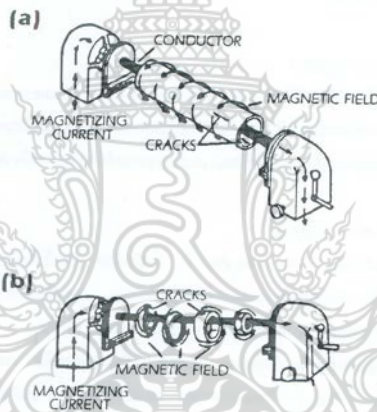
การเหนี่ยวนำโดยวิธีนี้จะใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานโดยตรง เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน ในทิศทางตามยาวของชิ้นงาน จะเหนี่ยวนำให้ชิ้นงานเกิดสนามแม่เหล็กวงกลมนั้นรอบชิ้นงาน และตั้งฉากกับ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านชิ้นงานจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดรูปร่างของ ชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานส่วนใหญ่จะเป็นพวกท่อหรือเพลากลม สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเหนี่ยวนำวิธีนี้ เรียกว่า สนามแม่เหล็กวงกลม (Circular Magnetization)



รูปการเหนี่ยวนำ โดย Current Flow

Central Conductor

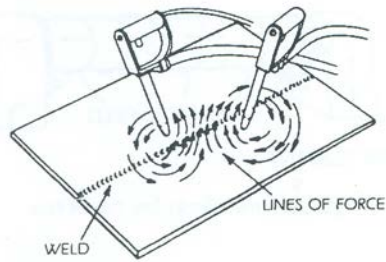
การเหนี่ยวนำโดยวิธีนี้ใช้หลักการเดียวกับ Current Flow คือ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านแกนตัวนำ จะเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กแบบวงกลมขึ้นที่ชิ้นงาน ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า กรรรมวิธีการตรวจสอบนี้จะเหมาะกับชิ้นงานที่เป็นแบริ่งหรือแหวนที่ต้องการตรวจสอบหารอยแตกกว้าง กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะต้องมีขนาดที่พอเหมาะสมกับชิ้นงาน



รูปการเหนี่ยวนำโดย Central Conductor

Prod Contacts

วิธีการเหนี่ยวนำแบบ Prod Contacts นี้ มีข้อดี คือ หัวตัวนำแยกอิสระจากกัน ทำให้ง่ายต่อการทำงาน สามารถที่จะยึดหดระยะระหว่างขาคตัวนำได้ตามสภาพการทำงาน การทำงานจะใช้หัวตัวนำหนึ่งไหลผ่านชิ้นงานไปยังอีกหัวตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นบนชิ้นงานรอบ ๆ หัวตัวนำ ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต้องพอเหมาะกับขนาดของชิ้นงานและระยะห่างระหว่างหัวตัวนำทั้งสองซึ่งหากมากต้องใช้ไฟฟ้ามากด้วยในการทำงานจะต้องการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหัวตัวนำในทุกทิศทางและทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง เพื่อค้นหาขอบบัพพร้อม ซึ่งอาจจะมีทิศทางขนานกับทิศทางการเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กได้



รูปการเหนี่ยวนำโดย Prod Contacts

ผงแม่เหล็ก (Magnetic Power) มี 2 ชนิด

- ชนิดแห้ง (Dry – Particle)
- ชนิดเปียก (Wet-Particle)

การทดสอบด้วยน้ำยาแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing)

การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยน้ำยาแทรกซึม เป็นการตรวจสอบหารอยบกพร่องที่อยู่ผิวหน้าของชิ้นงาน ซึ่งรอยบกพร่องจะต้องมีปากเปิดออกสู่อากาศภายนอกโดยการดูซึมของเหลวที่แทรกตัวตามรอยแตกร้าว เพื่อช่วยขยายขนาดของรอยบกพร่องให้มองเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น วิธีการคือ เคลือบสารละลายให้ทั่วผิวหน้างานบริเวณที่ต้องการตรวจสอบปล่อยไว้ประมาณ 5 – 10 นาที เพื่อให้สารละลายสามารถแทรกซึมเข้าตามรอยบกพร่องได้หมด ทำการขจัดเอาสารละลายที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าออกให้หมด เรียกว่า สารละลายส่วนเกิน จากนั้นทำการดึงเอาสารละลายสร้างภาพดูชัดสืบสารละลายแทรกซึมตามรอยบกพร่องออกมา ทำให้สังเกตเห็นรูปร่างของรอยบกพร่องที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าขนาดจริงหลายเท่าตัว

น้ำยาแทรกซึม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเรืองแสง (Fluorescence) และชนิดไม่เรืองแสง (Non-Fluorescence) น้ำยาแทรกซึมชนิดเรืองแสงจะมีส่วนผสมของวัสดุเรืองแสง เวลาตรวจสอบต้องใช้หลอดเรืองแสง (Black light) สารเรืองแสงจะเรืองแสงขึ้นตามรอยบกพร่องสามารถมองเห็นได้ชัดเจน ส่วนชนิดไม่เรืองแสงจะทำการย้อมสี สีที่นิยมส่วนใหญ่จะเป็นสีแดง ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้

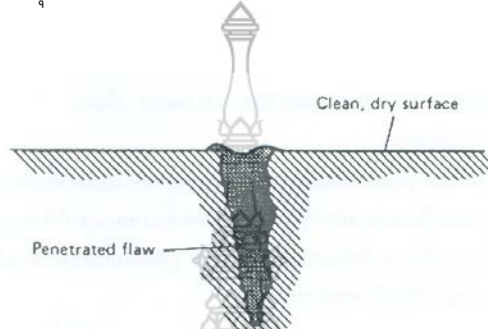
คุณสมบัติของน้ำยาแทรกซึม

- สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ในรอยบกพร่องทั้งขนาดเล็กและใหญ่
- สามารถตกค้างอยู่ในรอยบกพร่องได้ดี
- น้ำยาส่วนเกินที่อยู่ผิวหน้างานสามารถกำจัดออกได้ง่าย
- ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศหรืออุณหภูมิ
- ไม่มีผลหรือไม่ทำปฏิกิริยากับชิ้นงาน
- ไม่มีพิษต่อผู้ปฏิบัติงาน
- ไม่มีกลิ่น รบกวนหรือเป็นอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงาน
- ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการเก็บและการใช้งาน

วิธีการทดสอบด้วยน้ำยาแทรกซึม

1) การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการตรวจสอบ

ชิ้นงานที่จะทำการตรวจสอบหารอยบกพร่องด้วยน้ำยาแทรกซึมนั้น จำเป็นจะต้องทำความสะอาดเพื่อกำจัดพวกไขมันและน้ำมัน (Fat & Oils) ออกจากบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานให้หมด เพราะสารเหล่านี้อาจเกาะติดหรือฝังอยู่ในรอยบกพร่อง ทำให้สารละลายไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปอยู่ในรอยบกพร่องได้เต็มที่ ในการขจัดสารพวกไขมันและน้ำมัน จะใช้น้ำยาทำความสะอาด (Cleaner) ซึ่งเป็นสารประกอบของปิโตรเลียมกับสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่จะบรรจุในกระป๋องสเปรย์ฉีดพ่นบริเวณที่ต้องการตรวจสอบแล้วทำการเช็ดออกด้วยผ้าสะอาด



รูปการทำความสะอาดชิ้นงาน

2) การเคลือบน้ำยาแทรกซึม (Penetrating)

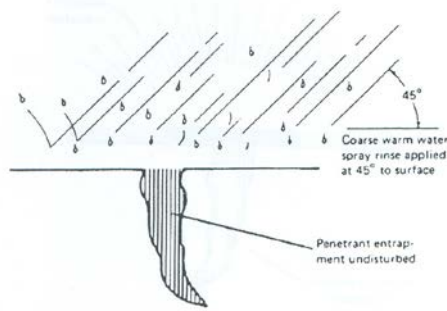
เป็นกรรมวิธีทำให้น้ำยาแทรกซึม แทรกซึมเข้าไปในรอยบกพร่อง โดยการพ่น ทา หรือจุ่มชิ้นงานลงในน้ำยาแทรกซึมให้ทั่วบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ ทั้งไว้ประมาณ 5 – 10 นาที เพื่อให้ให้น้ำยาแทรกซึมเข้าตามรอยบกพร่องได้เต็มที่ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการแทรกซึมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และชนิดของสารละลาย



รูปการเคลือบน้ำยาแทรกซึม

3) การขจัดน้ำยาส่วนเกิน (Removal)

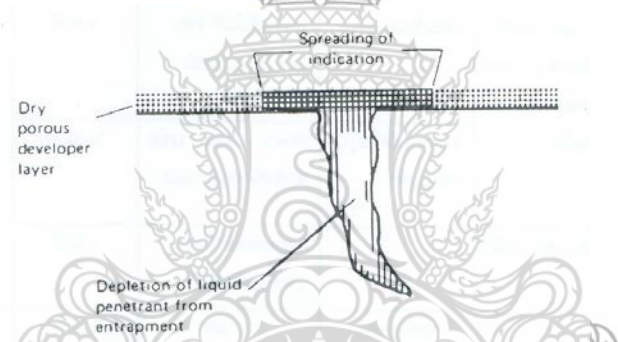
การขจัดน้ำยาส่วนเกินเกิดออกกระทำเมื่อปล่อยให้ให้น้ำยาแทรกซึม แทรกซึมเข้าไปตามรอยบกพร่องได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว ด้วยการเช็ดออกด้วยผ้าสะอาด เอาสารละลายที่เกาะติดบนผิวหน้างานออกให้หมด บางครั้งการขจัดน้ำยาส่วนเกินสามารถกระทำได้หลายวิธีเช่น การล้างออกด้วยน้ำ (Water Washable) การทำให้เป็นอิมัลชัน (Post Emulsifiable) การล้างออกด้วยตัวทำละลาย (Solvent Removable) เป็นต้น ยังคงเหลือไว้เฉพาะน้ำยาที่แทรกตัวอยู่ตามรอยบกพร่องเท่านั้น



รูป การฉีดน้ำยาส่วนเกินออก

4) การสร้างภาพ (Developing)

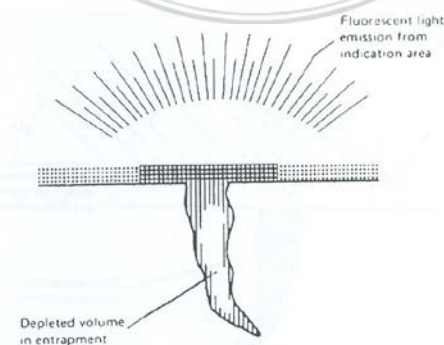
การสร้างภาพเป็นการดึงเอาน้ำยาแทรกซึมที่แทรกตัวอยู่ตามรอยบกพร่องออกมาปรากฏบนผิวหน้าของชิ้นงานด้วยการใช้น้ำยาสังภาพ (Developer) ฉีดพ่นบนผิวหน้างานบริเวณที่ทำการเคลือบน้ำยาแทรกซึม น้ำยาสังภาพเมื่อแห้งจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มสีขาวเคลือบบนผิวงาน บริเวณที่มีน้ำยาแทรกซึมที่แทรกตัวอยู่ตามรอยบกพร่องก็就会被แผ่นฟิล์มดูดซับขึ้นมาเห็นเป็นภาพรูปร่างของรอยบกพร่อง จะมีขนาดใหญ่กว่ารอยบกพร่องจริง เมื่อปล่อยให้แห้งตามระยะเวลาที่กำหนด



รูปการสร้างภาพ

5) การตรวจสอบ (Inspection)

ภายหลังจากการสร้างภาพแล้วตรวจสอบว่ามีรอยบกพร่องปรากฏขึ้นหรือไม่ ดูรูปร่างลักษณะของรอยบกพร่องว่าเป็นจุดหรือเป็นเส้นยาว ซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะของรอยบกพร่องว่าเป็นรูหรือรอยแตกร้าว ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบการแปลความหมายจากขนาดของรอยบกพร่องที่ปรากฏ รอยบกพร่องที่เห็นขนาดไม่ได้หมายความว่ารอยบกพร่องนั้น มีขนาดใหญ่อย่างเดียว อาจเป็นรอยแตกร้าวขนาดเล็กแต่มีความลึกลงไปในเรื่องานมากก็เป็นได้



รูปการตรวจสอบหารอยบกพร่อง

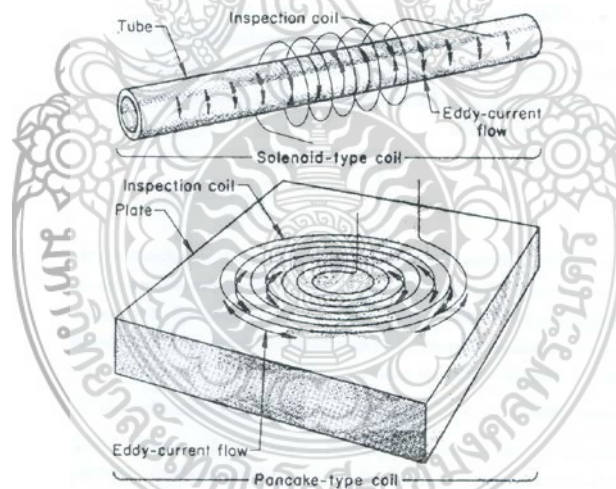
การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปใกล้ชิ้นงานตัวนำ บริเวณรอบ ๆ ขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กกระทำต่อชิ้นงานตัวนำ เนื่องจากสนามแม่เหล็กของขดลวดนั้นเกิดจากกระแสสลับ ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำต่อชิ้นงานตัวนำจะมีทิศทาง และขนาดแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ซึ่งในกรณีเช่นนี้จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำต่อชิ้นงานตัวนำ จึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กบนชิ้นงานตัวนำนี้เรียกว่า กระแสไหลวน ขนาดของกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตัวนำตลอดจนลักษณะการกระจายตัวขึ้นอยู่กับจำนวนความถี่ ค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงานตัวนำ รูปร่างและขนาดของชิ้นงานตัวนำ กระแสในขดลวด ระยะที่ห่างจากชิ้นงานตัวนำ และแปรเปลี่ยนตามรอยบกพร่องนั้นๆ

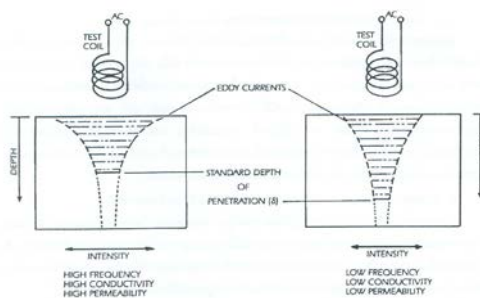
ปรากฏการณ์ที่ผิวกับความลึกที่ผ่านเข้า (Skin Effect & Depth Penetration)

เมื่อผ่านกระแสสลับที่มีความถี่สูงเข้าไปในเส้นลวดตัวนำ กระแสจะรวมกันไหลอยู่ตามบริเวณใกล้ ๆ ผิวหน้าและไหลในบริเวณศูนย์กลางในปริมาณน้อย ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ที่ผิว (Skin Effect) ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างกระแสกับสนามแม่เหล็ก การตรวจสอบโดยใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุตัวนำ จึงจำเป็นต้องนำปรากฏการณ์ที่ผิวนี้มาพิจารณาด้วย

ถ้าให้สารตัวนำมีลักษณะกว้างกึ่งไม่รู้จัก และมีสนามแม่เหล็ก จากกระแสสลับมากระทำ กระแสไหลวน ที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงไปตามสัดส่วนกับระยะทางจากผิว



รูปการเกิดกระแสไหลวน



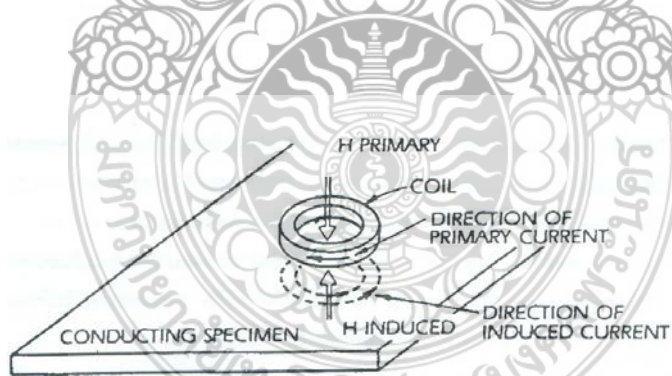
รูปปรากฏการณ์ที่ผิว

ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด

การทดสอบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอาศัยขดลวดทำให้เกิดกระแสไหลวน ภายในชิ้นงาน แล้วตรวจหารอยบกพร่องในชิ้นงานโดยดูค่าแปรเปลี่ยนของกระแสไหลวนนั้น เนื่องจากข้อมูลที่วัดออกมาได้นั้นมาจากขดลวดจึงจำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติของอุปกรณ์นี้ในวงจรกระแสสลับ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) กับแรงดันไฟฟ้า (V) จะแสดงในรูปอิมพีแดนซ์ (Z) ดังนี้ คือ

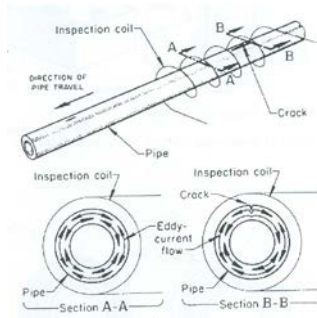
$$Z = \frac{V}{I}$$

จากรูป เมื่อนำขดลวดเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนภายในชิ้นงานตัวนำ จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดนั้น เปรียบเทียบได้กับรูปแบบของหม้อแปลงฟ้า นั่นคือในการต่อโหลดเข้ากับหม้อแปลงทางขดลวดทุติยภูมิ เมื่อกระแสไหลในโหลดจะทำให้กระแสในขดลวดปฐมภูมิมีกระแสไหลมากขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับขดลวดที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อนำเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ จากผลของกระแสไหลวนทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดมีมากขึ้น นั่นคือ ในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อค่า I เพิ่มขึ้นจากสูตร $Z = \frac{V}{I}$ แสดงว่าค่าอิมพีแดนซ์จะลดลง นอกจากนี้กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำในชิ้นตัวนำนั้นยังแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างขดลวดกับชิ้นตัวนำ, ค่าความถี่, ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความซาบซึมได้ทางแม่เหล็กอีกด้วย ซึ่งในการทำงานเดียวกันค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดก็จะแปรเปลี่ยนไปตามตัวแปรเหล่านี้ด้วยเช่นกัน



รูป ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบโดยการเหนี่ยวนำด้วยตนเอง

จากรูปบริเวณใกล้ ๆ ผิวของชิ้นงานถ้ามีรอยแตกร้าวที่ทำให้เกิดการไม่ต่อเนื่องจะทำให้กระแสไหลวนมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสนามแม่เหล็กจากกระแสไหลวนจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดที่เข้าใกล้ชิ้นตัวนำ ที่มีตำแหน่งไม่ต่อเนื่องแปรเปลี่ยนไปเช่นกัน นั่นคือ ถ้านำขดลวดเข้าใกล้ชิ้นตัวนำแล้วตรวจพบว่าค่าอิมพีแดนซ์แปรเปลี่ยนไป ก็จะสามารถหารอยร้าวหรือรอยบกพร่องได้ ซึ่งลักษณะการตรวจสอบโดยหาค่าแปรเปลี่ยนของอิมพีแดนซ์ในขดลวดนี้ เรียกว่า ขดลวดทดสอบแบบเหนี่ยวนำด้วยตนเอง

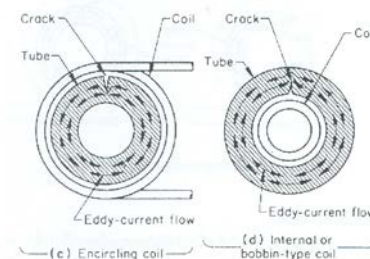
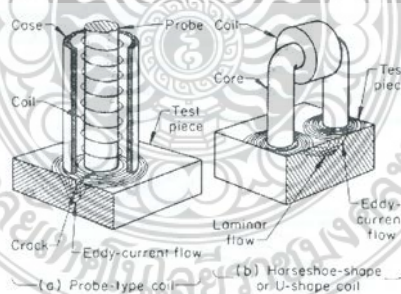


รูปกระแสไหลวนเปลี่ยนแปลงไปตามรอยร้าว

ขดลวดที่ใช้ในการตรวจสอบ

ขดลวดที่ใช้ในการตรวจสอบนั้น ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในชิ้นงานทดสอบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนในชิ้นงานทดสอบ ขดลวดทดสอบจะมีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนี้

- 1) ขดลวดแบบมีแกนเหล็ก (Probe – type Coil) ใช้ตรวจสอบวัสดุที่มีลักษณะเป็นท่อนกลม ท่อนแผ่น ตลอดจนก้อนโลหะดิบ โดยการแตะกับผิววัสดุเพื่อตรวจหารอยบกพร่องที่ผิว การใช้ขดลวดแบบแกนเหล็กยังสามารถใช้ตรวจชนิดของเนื้อวัสดุ และวัดความหนาของชั้นฟิล์มได้ ดังรูป(a) และ (b)
- 2) ขดลวดแบบสวม (Encircle Coil) การทดสอบจะให้ชิ้นงานทดสอบ ผ่านเข้าไปในช่องขดลวดทดสอบ ชิ้นงานประเภทนี้ได้แก่ ท่อ เหล็กกลม การทดสอบแบบนี้มีข้อดีคือ ขดลวดทดสอบไม่ต้องแตะชิ้นงานหรือจุดบกพร่อง ทำให้การตรวจสอบทำได้ไว และมีประสิทธิภาพ ดังรูป (c)
- 3) ขดลวดแบบสอด (Internal or bobbin type Coil) ใช้สอดเข้าไปภายใน เพื่อตรวจสอบภายในชิ้นงานที่เป็นท่อหรือรูกลวง ขนาดของขดลวดทดสอบจะต้องมีขนาดพอเหมาะกะกับรูในของท่อซึ่งมีให้เลือกหลายขนาด การทดสอบส่วนมากจะใช้ในงานบำรุงรักษา ดังรูป(d)



รูป ขดลวดทดสอบแบบต่างๆ

ชนิดของการทดสอบ

1. การตรวจหารอยแตกร้าว
2. การตรวจสอบวัสดุเพื่อคัดแยกหาวัสดุที่ต่างชนิดกัน
3. การวัดความหนาของชั้นฟิล์ม
4. การตรวจสอบระยะ และวัดขนาดหรือรูปร่าง

- การตรวจสอบ

ในการตรวจสอบด้วยกระแสไหลวนนั้น อุปกรณ์ที่ใช้จะมีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและจุดประสงค์ของการตรวจสอบ เช่น ถ้าชิ้นงานเป็นท่อกลวง ก็ต้องใช้หัวตรวจสอบชนิดที่ใช้ตรวจสอบท่อ หรือชิ้นงานเป็นแผ่น ก็ต้องใช้หัวตรวจสอบอีกประเภทหนึ่ง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาหัวตรวจสอบที่มีขนาดเล็ก โดยมีขดลวดอยู่ภายใน ซึ่งสะดวกในการตรวจสอบและเคลื่อนย้าย



รูป เครื่องตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน



รูป หัวตรวจสอบแบบขดลวดความถี่ต่ำ

ในการตรวจสอบหารอยร้าว หรือข้อบกพร่องของชิ้นงาน ที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน เช่น รอยร้าว รูกลวง หรือต้องการวัดขนาดของความหนาของชิ้นงาน ความกว้างของรอยบาก เมื่อปล่อยกระแสไฟไหลผ่านไปยังชิ้นงาน จนเกิดสนามแม่เหล็ก หัวตรวจสอบที่มีวงจรีเทคเตอร์ก็จะมีการแปรความถี่สัญญาณออกไปแสดงผลทางจอภาพ เป็นเส้นสัญญาณแสดงผล (Lissajous signals) อยู่กลางจอภาพ ซึ่งลักษณะของเส้นสัญญาณแสดงผล ก็จะมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันตามรูปร่างของจุดบกพร่อง

การทดสอบด้วยรังสี (RADIOGRAPHIC TESTING)

การตรวจสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี เป็นสาขาหนึ่งของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรม โดยการนำเอาคุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผ่านเข้าไปในวัสดุชิ้นงาน ใช้แผ่นฟิล์มซึ่งเคลือบสารไวแสงไว้เป็นตัวรองรับปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุนั้น เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม สามารถมองเห็นเป็นภาพเนกาทีฟ (Negative) กล่าวคือส่วนของชิ้นงานที่หนาหรือส่วนที่มีความหนาแน่นสูง ปริมาณรังสีที่ผ่านทะลุชิ้นงานมาทำปฏิกิริยากับสารไวแสงบนแผ่นฟิล์มได้น้อยกว่า ชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่า เมื่อนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มผลก็คือ บริเวณที่มีความหนามากกว่า จะมีความดำน้อยกว่าบริเวณที่มีความหนาน้อย ถ้าภายในวัสดุชิ้นงานมีรอยบกพร่อง เช่น โพรงอากาศ รอยแตก ร้าว สลักฝังในและอื่น ๆ จะปรากฏภาพเป็นสีดำกว่า เหตุเพราะปริมาณรังสีสามารถทะลุผ่านได้มากกว่านั่นเอง



รูป แสดงการถ่ายภาพด้วยรังสี

คุณสมบัติของรังสี

1. รังสีเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงมีความเร็วเท่ากับแสง อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. รังสีสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ทุกชนิดทั้งโปร่งแสงและทึบแสง ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุนั้น ๆ
3. รังสีสามารถทำปฏิกิริยากับสารเรืองแสงให้เกิดแสงได้
4. มนุษย์ไม่สามารถใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า รับรู้ได้
5. รังสีทำอันตรายกับเซลล์สิ่งมีชีวิต

ข้อดีของการตรวจสอบด้วยรังสี

1. สามารถตรวจสอบวัสดุได้ทุกชนิด
2. สามารถเก็บภาพเป็นหลักฐานถาวรได้

ข้อเสียของการตรวจสอบด้วยรังสี

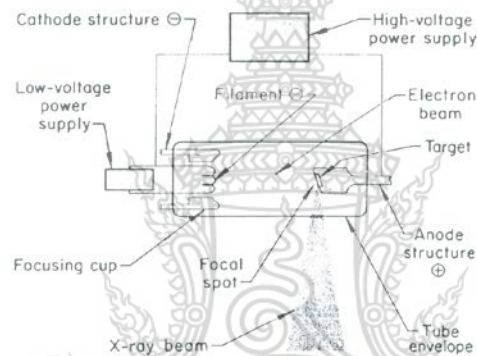
1. รังสีสามารถทำอันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต

2. ไม่สามารถวัดความลึกกรวยบัพพ่องได้
3. ขณะปฏิบัติงานต้องเข้าถึงหน้างานทั้งสองด้าน คือด้านฉายรังสีกับด้านวางฟิล์ม
4. มีขีดจำกัดที่ความหนาของชิ้นงานและความหนาแน่นของวัตถุเข้ามาเกี่ยวข้อง

ต้นกำเนิดของรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีแบ่งเป็น 2 ประเภท

การกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-RAY)

การกำเนิดรังสีเอกซ์ เป็นประเภทรังสีที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เกิดขึ้นภายในหลอดแก้วสุญญากาศ โดยป้อนกระแสไฟฟ้าทำให้ไส้หลอดปลดปล่อยอิเล็กตรอนแล้วเร่งอิเล็กตรอนให้วิ่งด้วยความเร็วสูงไปชนเป้าโลหะที่มีจุดหลอมตัวสูง เช่น ทังสเตน เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนเป้าโลหะจะเกิดการสูญเสียพลังงานจลน์เป็นผลให้เกิดรังสีเอกซ์ขึ้น มีความยาวคลื่นต่ำ พลังงานที่ปลดปล่อยออกอากาศอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous x-ray) หรือเรียกเป็นภาษาเยอรมันว่า Bremsstrahlung แปลว่า 'Breaking Radiation'



รูป โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์

โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์ เป็นภาชนะสุญญากาศ ทำด้วย Pyrex หรือ Ceramic ซึ่งทนต่อความร้อนและสภาวะสุญญากาศ ภายในหลอดรังสีเอกซ์ต้องจัดให้เป็นสุญญากาศด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

1. เพื่อไม่ให้ขั้วไฟฟ้าเกิดออกไซด์
2. เพื่อทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่ขั้วลบ สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าได้โดยไม่สูญเสียพลังงาน
3. เพื่อให้เกิดเป็นฉนวนไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ Filament จะยึดกับส่วนที่เป็น Pyrex หรือ Ceramic ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนค้ำยันขั้วไฟฟ้าสูง

การกำเนิดรังสีแกมมา (Gamma Source)

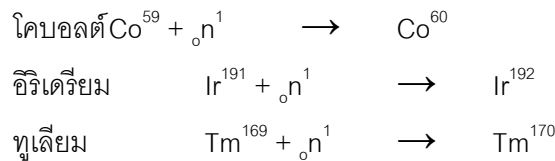
รังสีแกมมาได้จากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีเนื่องจากสภาวะไม่สมดุลของอัตราส่วนนิวตรอน (Neutron) ต่อ โปรตอน (Proton) ในนิวเคลียสใหม่พร้อมทั้ง คายพลังงานด้วยการแผ่รังสีแกมมาออกมา แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีจำแนกได้ 3 ประเภท

1. แหล่งกำเนิดรังสีที่สกัดจากแร่กัมมันตรังสี ในธรรมชาติ

ได้มาจากการสกัดธาตุกัมมันตรังสีออกจากแร่ได้แก่ เรเดียม - 226 (Ra²²⁶) จากแร่ยูเรเนียมปัจจุบันเลิกใช้แล้วเนื่องจากมีค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำและสลายตัวแล้วให้ก๊ากัมมันตรังสี เรดอม - 222 (Ra²²²) ซึ่งอาจเกิดการรั่วไหลและเป็นอันตรายได้

2. แหล่งกำเนิดรังสีที่ผลิตจากการอบรังสี

ได้มาจากการนำไอโซโทปเสถียรของธาตุบางชนิดไปอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จะไอโซโทปรังสีที่เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมา เช่น



3. แหล่งกำเนิดรังสีที่สกัดจากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

ได้จากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ขณะใช้งานจะมีการแตกตัวให้สารกัมมันตรังสีเกิดขึ้นมากมาย ไอโซโทปตัวหนึ่งที่ถูกสกัดออกมาใช้งานเป็นต้นกำเนิดรังสี คือ ซีเซียม - 137 (Cs^{137})

เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา จะแผ่รังสีออกมาตลอดเวลา เราไม่สามารถควบคุมการแผ่รังสีได้ ดังนั้นการเก็บรักษาและการใช้งานต้องมีชุดกำบังรังสีเฉพาะ เรียกว่า ไอโซโทปคาเมร่า (Isotope Camera) หรือ ไอโซโทปโปรเจคเตอร์ (Isotope projector) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ Shield Pig และ Control Auxiliaries

1. Shield Pig เป็นภาชนะกำบังรังสีทำด้วยตะกั่ว ที่มีผนังหนาพอที่จะลดความแรงรังสีจากต้นกำเนิดรังสีให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย สำหรับเก็บต้นกำเนิดรังสีขณะไม่ใช้งาน

2. Control Auxiliaries เป็นอุปกรณ์ช่วยในการบังคับต้นกำเนิดรังสี ให้อยู่ในตำแหน่งที่จะถ่ายภาพได้ เช่น

ก. Control Cable เป็นอุปกรณ์ช่วยในการบังคับต้นกำเนิดรังสี ให้อยู่ในตำแหน่งที่จะถ่ายภาพได้ เช่น

ข. Indicator เป็นหลอดไฟสัญญาณแสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสี

ค. Shutter เป็นแผ่นกำบังรังสีสำหรับไอโซโทปคาเมร่าแบบไม่มีสาย ในการใช้งานภาคสนาม ไอโซโทปคาเมร่าแบบควบคุมระยะไกล (Remote Control) จะช่วยในด้านความปลอดภัย เนื่องจากระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับปฏิบัติงานอยู่ห่างกัน การเลือกแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเพื่อใช้งาน

โคบอลต์ Co^{60} ถ่ายเหล็กหนา 1 – 6 นิ้ว

อิริเดียม Ir^{192} ถ่ายเหล็กหนา 2 นิ้ว

ทูลีียม Tm^{170} ถ่ายเหล็กหนา 1/4 – 1/2 นิ้ว

ซีเซียม Cs^{137} ถ่ายเหล็กหนา 1 – 2.5 นิ้ว

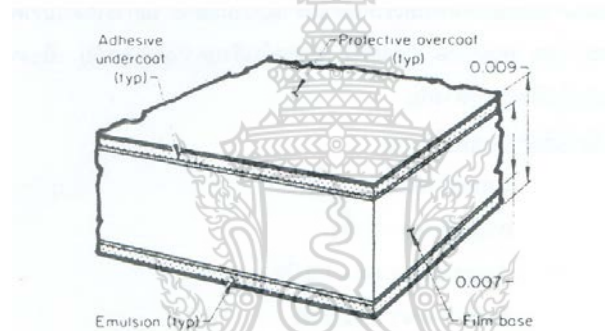
วัสดุที่ใช้บันทึกภาพถ่ายรังสี (Radiographic Film)

วัสดุที่ใช้บันทึกภาพถ่ายทางรังสี จะใช้ฟิล์มซึ่งทำด้วยแผ่นพลาสติกสังเคราะห์ แล้วฉาบด้วยผลึกสารไวแสงไว้ทั้งสองด้าน เรียกว่า ซิลเวอร์โบรไมด์ (AgBr) เมื่อได้รับรังสีหรือแสงผลึก (AgBr) จะแตกตัวเป็น Ag และ Br ซึ่งไม่สามารถมองเห็นเป็นภาพได้เรียกว่า การเกิดเป็นภาพแบบแฝง (Latent Image) ต้องนำฟิล์ม

ไปผ่านขบวนการล้างฟิล์มในห้องมืดขณะที่นำฟิล์มไปลงในน้ำยาสร้างภาพ Ag จะแปรสภาพเป็นโลหะเงินสีดำ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับเมื่อผ่านฟิล์มลงในน้ำยาสร้างภาพ ส่วนใดของฟิล์มที่ไม่โดนรังสี ผลึก (AgBr) จะถูกน้ำยานี้กัดออกจากแผ่นฟิล์ม ทำให้ส่วนนั้นมีความดำลดลงหรือมีลักษณะโปร่งใสภาพที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มจะมีลักษณะกลับกันกับวัตถุจริง เรียกว่า ภาพเนกาทีป (Negative)

● ส่วนประกอบของฟิล์ม

1. Protective Overcoat อยู่ผิวชั้นนอกสุดฉาบไว้ด้วยสารเรเยอร์ (layer) ซึ่งเป็นวัสดุใสเพื่อป้องกัน Emulsion ที่อยู่ชั้นถัดลงไปไม่ให้ปนรอยขีดข่วนเสียหาย
2. Emulsion เป็นชั้นที่ประกอบไปด้วยผลึกเงินโบรไมด์ (Silver Bromide) ซึ่งแขวนลอยอยู่ในเจลาติน (Gelatin) เมื่อถูกรังสีจะแปรเปลี่ยนเป็นโลหะเงิน (Metallic Silver)
3. Adhesive Undercoat เป็นเยื่อเหนียวช่วยยึดจับ emulsion ให้ติดกับแผ่นฟิล์ม
4. Film Base เป็นแผ่นพลาสติกสังเคราะห์โปร่งใสทำด้วยเซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose Acetate)



รูป ส่วนประกอบของฟิล์มถ่ายภาพด้วยรังสี

ฟิล์มแบ่งได้ตามความไวแสง ได้ 3 กลุ่ม

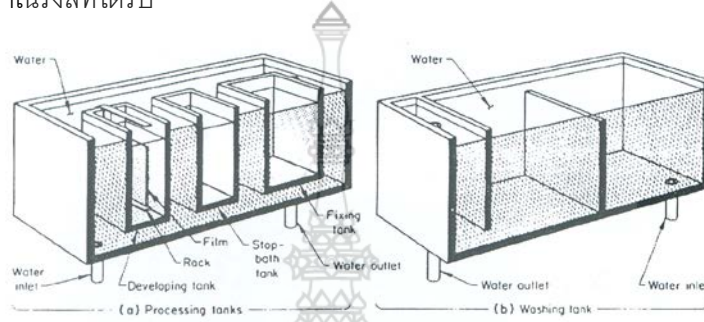
1. ฟิล์มที่มีความไวต่ำ (Slow Film) จะมีลักษณะผลึกเกลือเงินละเอียดมาก การจะทำให้เกิดภาพได้ต้องใช้รังสีปริมาณมาก ๆ
2. ฟิล์มที่มีความไวปานกลาง (Medium Speed Film) จะมีลักษณะผลึกเกลือเงินละเอียด ซึ่งนิยมนำมาใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรมมาตรฐานทั่วไป
3. ฟิล์มที่มีความไวสูง (Fast Film) ผลึกเกลือเงินจะหยาบมีปฏิกิริยากับแสงหรือรังสีสูง คือ เกิดภาพได้งานเมื่อโดนรังสีปริมาณน้อย ๆ แต่ภาพถ่ายทางรังสีจะแสดงรายละเอียดที่มีความคมชัดต่ำ จึงไม่นิยมนำมาใช้ ยกเว้นเทคนิคการฉายรังสีบางประเภท

การล้างฟิล์ม (Film Processing)

กระบวนการล้างฟิล์มเนกาทีป การสร้างภาพจะต้องปฏิบัติในห้องมืดที่มี น้ำยาที่ใช้ในการล้างฟิล์ม ขาว-ดำ มีขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ

1. น้ำยาสร้างภาพ (Developer) เป็นน้ำยาที่มีส่วนผสมเป็นสารประกอบประเภทต่าง ทำให้ภาพแฝงปรากฏมองเห็นได้เป็นภาพขึ้นบนฟิล์ม

2. น้ำยาหยุดภาพ (Stop Bath) เมื่อนำฟิล์มออกจากน้ำยาสร้างภาพจะยังคงมีต่างจากน้ำยาสร้างภาพติดอยู่บนฟิล์ม จะต้องทำให้การทำปฏิกิริยาฟิล์มหยุดภาพโดยการผ่านน้ำหรือกรดน้ำส้มอ่อน ๆ ประมาณ 23% ผสมน้ำ
3. น้ำยาคงสภาพ (Fixer) เมื่อผ่านฟิล์มในน้ำยาสร้างภาพส่วนที่ไม่ถูกรังสีหรือได้รับรังสีปริมาณน้อย ๆ น้ำยาซึ่งมีสภาพเป็นกรด จะกัดสารไวแสงบนแผ่นฟิล์มออก บริเวณใดที่ได้รับรังสีมาก ๆ น้ำยานี้จะทำให้สารไวแสงนั้นทำปฏิกิริยาเป็นภาพถาวร คือทำให้ Emulsion แข็งตัว ทั้งนี้จะเป็นสัดส่วนกันกับปริมาณรังสีที่ได้รับ



รูป ลักษณะของถังอุปกรณ์ในการล้างฟิล์ม

การวัดคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี (Image Quality Indicator)

เพื่อสร้างความมั่นใจว่า คุณภาพของภาพถ่ายมีมาตรฐาน คือ เห็นรอยบกพร่องของชิ้นงานบนฟิล์ม ที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว จึงต้องมีวัสดุมาตรฐานที่ถูกทำขึ้นมาเพื่อใช้บ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายรังสี เรียกว่า |Q| เป็นโลหะประเภทเดียวกันกับชิ้นงานที่นำมาฉายรังสี มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากคือแบบเส้นลวด (Wire Type) และแบบที่เป็นรู (Hole type) ในทางปฏิบัติจะต้องวางแผ่น |Q| บนชิ้นงาน ด้านที่หันเข้าหาต้นกำเนิดรังสี เมื่อฉายรังสีแล้วนำแผ่นฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ภาพถ่ายทางรังสีจะปรากฏเงาของ |Q| บนแผ่นฟิล์มแล้วนำไปคำนวณความคมชัดได้ โดยมีข้อสังเกต คือ คุณภาพที่ได้ควรจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ไม่เกิน 2% สำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยมีสูตรการคำนวณคุณภาพของภาพถ่ายรังสีแบบลวดดังนี้

$$\begin{aligned} \text{คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี} &= \frac{\text{เส้นลวดที่เล็กที่สุดมองเห็นบนแผ่นฟิล์ม}}{\text{ความหนาสูงสุดของชิ้นงาน}} \times 100 \\ &= 2\% \text{ หรือน้อยกว่า} \end{aligned}$$

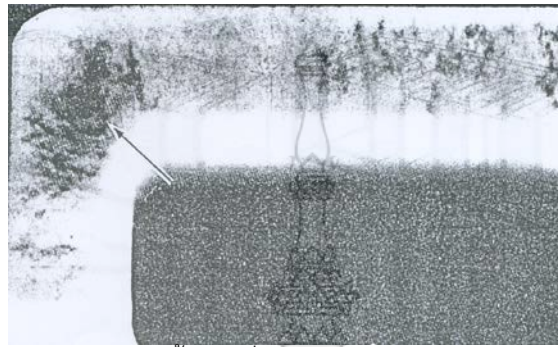
ความปลอดภัยทางรังสี

รังสีเป็นอันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ดังนั้นผู้ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องศึกษาและมีความรู้เกี่ยวกับวิธีป้องกันอันตรายจากรังสีเบื้องต้น โดยมีพื้นฐานดังนี้

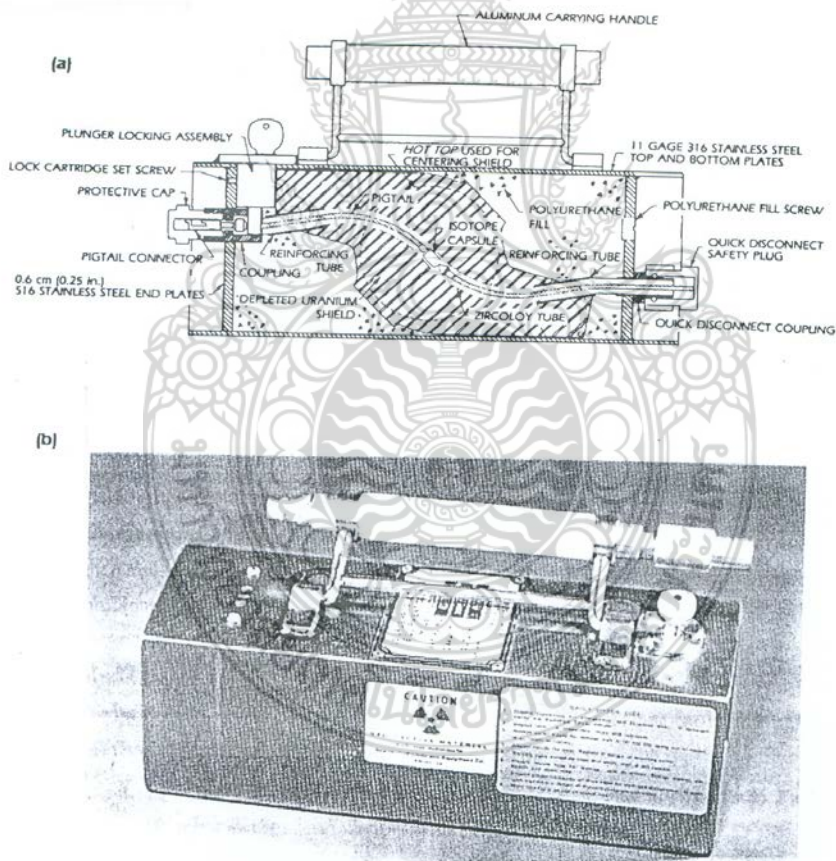
1. ใช้เวลาในการปฏิบัติงานให้น้อยที่สุด โดยเฉลี่ย 2.5 mR/hr. (มิลลิเรม/ชั่วโมง)
2. หากเป็นไปได้ให้ใช้ระยะทางในการปฏิบัติงานห่างจากรังสีให้มากที่สุด

3. ใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงมาเป็นฉากกำบัง

ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณรังสีที่ได้รับ ซึ่งการวัดอาจจะใช้มาตรวัด Survey Meter เพื่อทำการวัดปริมาณรังสีและมีเสียงเตือนประกอบด้วย สำหรับผู้ปฏิบัติงานจะต้องมี Film Badge หรือ TLD ติดตัวตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีเพื่อวัดปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ

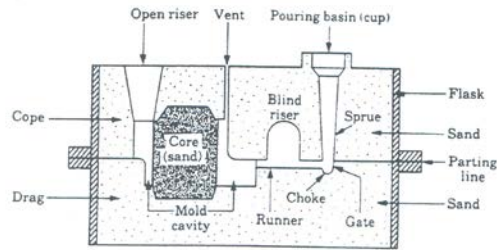


รูป ภาพถ่ายชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบด้วยรังสี



รูป (a) ภาพตัดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

(b) เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์



รูป แสดงส่วนต่าง ๆ ในระบบการป้อนกันนำโลหะ

ทรายหล่อ (Green Sand)

ทรายหล่อที่ใช้กันมากที่สุดมีทรายภูเขา ทรายทะเล ทรายแม่น้ำ และทรายซิลิกา (Silica Sand) ทรายทั้งหมดนี้เกิดขึ้นตามธรรมชาติ บางชนิดสามารถนำไปใช้งานได้เลย แต่บางชนิดต้องนำไปบดย่อยให้ได้ขนาดก่อนนำไปใช้ นอกจากนี้ยังที่ทรายวิทยาศาสตร์ที่ก่อนนำมาใช้ทำแบบหล่อ ต้องเติมส่วนผสมทางเคมีหรือตัวประสานลงไป

ทรายภูเขาได้จากชั้นหินเก่า (Old Strata) มีดินเหนียวผสมอยู่ด้วยประมาณ 10 – 20% ต้องผสมน้ำก่อนใช้เป็นทรายหล่อได้ ทรายทะเลได้จากทรายตามชายหาด และทรายแม่น้ำได้จากก้นแม่น้ำ ส่วนทรายซิลิกา ได้จากธรรมชาติตามภูเขาบางที่ได้จากการบดหินที่มีแร่ควอร์ต (Quartzite) หรือหินเยวหนุมาน ทรายทุกชนิดจะมีส่วนผสมคือ SiO_2 และสิ่งเจือปน (Impurities) อื่น ๆ เช่น ไมกา (Mica) หรือหินฟันม้า (Feldspar) ทรายธรรมชาติจะเกาะติดกันได้ดีนั้นต้องมีส่วนผสมของดินเหนียว หรือต้องเติมตัวประสาน (Binders) ลงไปด้วย ตัวประสานที่นิยมใช้คือ เบนโทไนท์ หรือแป้ง หรือเดกซ์ทรีน (Dextrine) นอกจากนี้ยังใช้น้ำแก้ว (Water Glass) เรซิน (Resins) หรือ ซีเมนต์ (Cement) เป็นตัวประสานพิเศษ และใช้ผงถ่านหิน ผงยางมะตอย ผงถ่านโค้ก หรือผงกราฟไฟท์ ประมาณ 1% ผสมกับทรายหล่อ เพื่อให้ผิวงานหล่อมีความละเอียดสามารถถอดแบบออกได้ง่าย แต่การใส่ส่วนผสมพิเศษถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียขึ้นได้

คุณสมบัติของทรายหล่อ

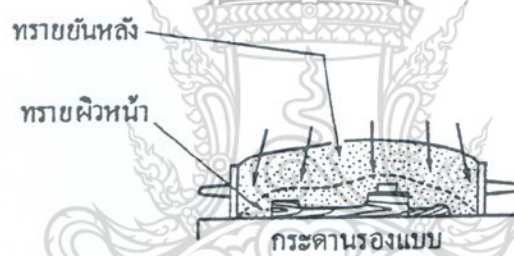
ทรายหล่อที่ดีต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ขึ้นรูปได้ง่าย และทำแบบหล่อได้สะดวก มีความแข็งแรงพอในขณะเทน้ำโลหะ แล้วไม่เกิดความเสียหายทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิสูง ๆ
- จะต้องให้ก๊าซไหลผ่านออกได้สะดวกเพราะถ้าอากาศหรือก๊าซไม่สามารถซึมออกได้เร็วพอในขณะเทน้ำโลหะอาจทำให้แบบหล่อแตก หรือเกิดรูพรุนในชิ้นงานได้
- เม็ดทรายต้องมีขนาดพอเหมาะ
- ทนความร้อนจากน้ำโลหะได้สูง เช่น เหล็กเหนียวหล่อมีอุณหภูมิขณะเทประมาณ $1,500 - 1,550^{\circ}C$
- ส่วนผสมที่ทำให้ทรายหล่อมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น จะต้องไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เมื่อกระทบหรือสัมผัสกับน้ำโลหะ
- สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกหลายครั้งเพื่อความประหยัด
- มีราคาถูกลง และจัดหาได้ง่าย

แบบหล่อทราย (Sand Molding)

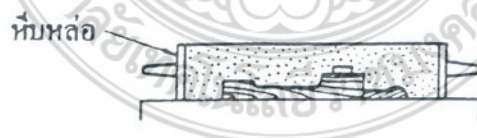
ในปัจจุบันนี้แบบหล่อทรายสามารถทำด้วยมือ หรือโดยการใช้เครื่องทำแบบหล่อก็ได้ เพราะว่าการใช้เครื่องสามารถทำได้รวดเร็ว ส่วนแบบหล่อทรายที่ทำด้วยมือจะเหมาะกับงานที่มีปริมาณน้อย รูปร่างซับซ้อน ซึ่งเครื่องไม่สามารถจะทำได้ ส่วนมากใช้ทรายที่มีดินเหนียวเป็นตัวประสาน วิธีการทำแบบหล่อด้วยมือ โดยใช้ทรายเปียก (Green Sand) มีขั้นตอน ดังนี้

1. วางกระดานรองแบบ (Plate) ลงบนพื้นที่มีผิวเรียบ สะอาด และแห้ง
2. วางกระสวน (Pattern) และหีบสำหรับแบบส่วนล่าง (Drag) ลงบนกระดานรองแบบ หีบหล่อจะต้องมีขนาดใหญ่กว่ากระสวน และเพียงพอที่จะทำให้ทรายหล่อมีความหนาแน่นด้านข้างๆ และไม่น้อยกว่า 30-50 มม.
3. คลุมผิวของกระสวนด้วยทรายผิวหน้า (Surface Sand) ที่ผ่านการร่อนให้ละเอียดมาแล้วให้ได้ความหนาประมาณ 30 มม. ดังรูป



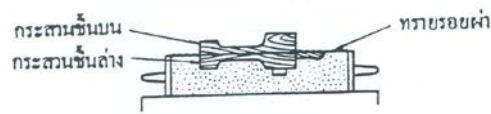
รูปที่ 4.11 การวางกระสวนและการใส่ทรายผิวหน้า

4. เททรายทำแบบหล่อลงบนทรายผิวหน้าแม้กระทั่งด้วยเครื่องมือกระทั่ง เฉพาะบริเวณกระสวน ต้องกระทั่งอย่างระมัดระวัง หลังจากนั้นปาดทรายให้เรียบเสมอหีบหล่อ พร้อมทั้งยกหีบหล่อออกจากกระดานรองแบบ ดังรูป



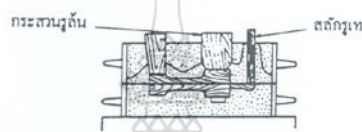
รูป แสดงการกระทั่งทรายและการปาดทรายให้เรียบ

5. พลิกหีบหล่อเอาส่วนล่างหงายขึ้นบน แล้ววางลงบนกระดานรองแบบ และวางอีกครึ่งหนึ่งของกระสวนลงบนกระสวนครึ่งล่าง วางหีบสำหรับหล่อส่วนบน (Cope) ครอบกระสวน แล้วโรยผงแยกแบบ (Parting Agent) ลงบนหน้าแบบหล่อ (parting Face) ชั้นล่าง และผิวของกระสวน ดังรูป



รูป การวางกระดานครึ่งหลัง

6. วางกระดานรูเท (Sprue Rod) และกระดานรูล้นให้เข้าที่ แล้วทรายผิวหน้าและทรายทำแบบหล่อลงในหีบหล่อ จากนั้นกระทุ้งให้ทรายพอแน่น ดังรูปทำเครื่องหมายไว้เพื่อจะได้วางหีบห่อบนลงในตำแหน่งเดิมได้อย่างถูกต้อง แล้วยกแบบหล่อส่วนบนขึ้นจากแบบหล่อส่วนล่างแล้ววางลงบนกระดานรองแบบ ดังรูปที่ 4.15

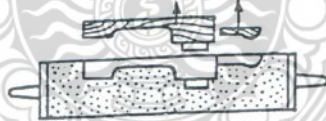


รูป แสดงการวางรูเท รูล้น และการทำแบบหล่นบน



รูป แสดงการถอดแบบหล่นบน

7. ทำรูวิ่งและรูเข้าโดยใช้เกรียงหรือข้อัน พร้อมดึงกระดานออกจากแบบหล่อ ดังรูปแล้ววางใส่แบบลงในโพรงของแบบ เสร็จแล้วประกอบแบบหล่นบนเข้ากับแบบหล่นล่าง ดังรูป



รูป แสดงการตั้งกระดาน การวางใส่แบบ



รูป แสดงการประกอบแบบหล่อ

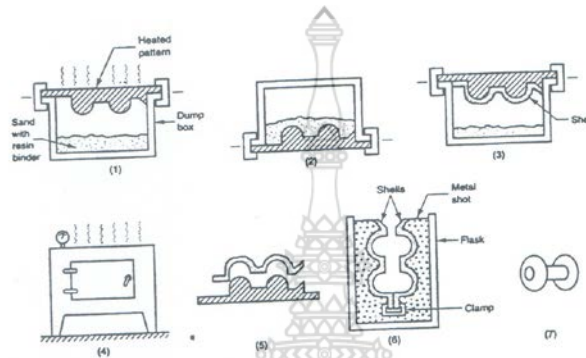
กระบวนการหล่อด้วยกรรมวิธีอื่น ๆ (Other Expendable Mold Casting processes)

แบบหล่อทรายเปียกจะใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานเพราะว่ามีราคาถูก แต่มีความแข็งแรงต่ำ และไม่สามารถทำแบบหล่อบาง ๆ ได้ บางครั้งทรายหล่อที่มีตัวประสานไม่ดีอาจทำให้เม็ดทราย หลุดออกมาปะปนกับน้ำโลหะขณะทำการเทหรือถูกกัดเซาะออกโดยการชนของน้ำโลหะ ในปัจจุบันได้มีการค้นคิดใช้ตัวประสาน

พิเศษที่มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและง่ายในการทำแบบหล่อ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแล้วแต่กระบวนการหล่อวิธีใด

แบบหล่อเปลือก (Shell Molds)

บางที่เรียกว่า C-Processes เป็นกระบวนการหล่อที่ถือว่าการพัฒนาครั้งยิ่งใหญ่ในอุตสาหกรรมประเภทการหล่อโลหะ ซึ่งมีขั้นตอนในการสร้างแบบหล่อ ดังรูป

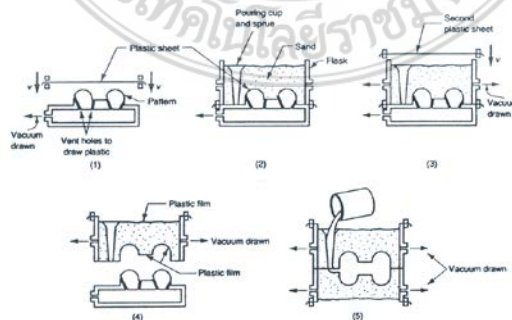


รูปแสดงขั้นตอนการสร้างแบบหล่อเปลือก

วิธีการหล่อแบบหีบร้อน (Hot Box Method)

ใช้ทรายผสมตัวประสานฟิวรานเรซิน (Furan Resin) 2-3% และใช้กรดอ่อน ๆ 20-30% (ของประมาณ) เรซินเป็นตัวช่วยในการผสม แต่ต้องควบคุมให้ทรายมีอุณหภูมิต่ำกว่า 30°C ข้อควรระวังคือ ทรายต้องไม่มีสิ่งเจือปน หรือฝุ่นผง แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรควบคุมให้มีปริมาณน้อยที่สุด มิฉะนั้นเมื่อทรายแข็งตัวจะทำให้มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงลดลง

การทำแบบหล่อต้องนำทรายที่ผสมแล้ว เป่าเข้าไปในหีบโลหะ (ส่วนมากจะทำมาจากเหล็กหล่อ) ที่ร้อนประมาณ 200°-250°C ทรายที่ถูกเป่าเข้าไปในหีบหล่อจะเกาะตัวกันแข็งทันที แบบหล่อชนิดนี้สลายตัวได้ง่าย ทำให้สะดวกในการแกะแบบอีกทั้งเรซินจะไหม้ที่อุณหภูมิสูง จึงทนต่อความร้อนได้ดี



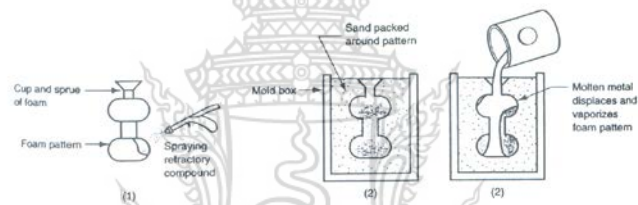
รูปแสดงขั้นตอนการหล่อด้วยแบบหล่อสุญญากาศ

แบบหล่อสูญญากาศ (Vacuum Molding)

บางที่เรียกว่า V-Process กระบวนการนี้ไม่มีการใช้ตัวประสานทางเคมี (Chemical Binder) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 1970 วิธีการนี้มีข้อดีคือ ทนายนสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ไม่ต้องใช้ตัวประสาน ทนายนที่ไม่ต้องผสมน้ำเพราะว่าความชื้นจะมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ ข้อเสียของกระบวนการนี้คือ เสียเวลา และไม่สามารถใช้เครื่องจักร อัตโนมัติทำได้ มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน

แบบหล่อโพลีเอทีรีน (Expanded Polystyrene Process)

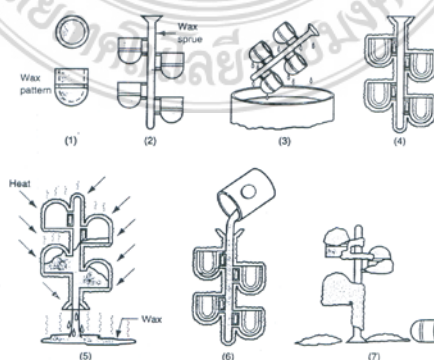
บางที่เรียกว่า Lost Foam Casting หรือ Lost Pattern Process วิธีการนี้จะใช้โฟม (Foam) เป็นกระสวย โดยต้องมีการออกแบบให้มีแอ่งเท รูเท และทางวิ่งอยู่ในชิ้นเดียวกันกับกระสวย แบบหล่อชนิดนี้ จะไม่ใช้หีบหล่อบน และหีบหล่อล่าง ทนายนที่ใช้ต้องผสมตัวยึด (Bonding Agents) และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังรูป



รูปแสดงขั้นตอนการหล่อโดยใช้กระสวยโฟม

การหล่อแบบอินเวสต์เมนต์ (Investment Casting)

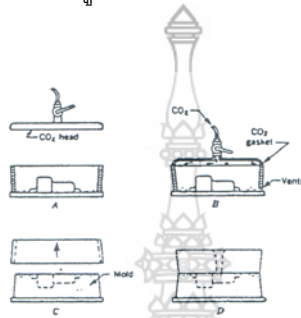
กระบวนการนี้ใช้กระสวยที่ทำมาจากขี้ผึ้ง (Wax) นำไปหุ้มเคลือบด้วยวัสดุทนไฟ (Refractory) ภายหลังจากการนำไปอบที่อุณหภูมิสูง ๆ ขี้ผึ้งจะหลอมละลายเหลือแต่โพรงภายในวัสดุทนไฟนั้น ที่พร้อมจะนำน้ำโลหะมาเทหล่อได้ เหมาะกับงานหล่อที่มีขนาดเล็กที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง เกิดขึ้นก่อนสมัยอียิปต์โบราณ บางที่นิยมเรียกว่า Lost-Wax Process มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังรูป



รูปแสดงขั้นตอนการหล่อแบบอินเวสต์เมนต์

แบบหล่อคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Mold Process)

กระบวนการนี้จะนำทรายซิลิกาผสมด้วยน้ำแก้วประมาณ 3-7% ภายในเครื่องไม่ทราย น้ำแก้วควรมีความชื้นต่ำกว่า 50% และควรมีความหนืดต่ำ ใช้เวลาในการผสมไม่ควรเกิน 5 นาที ควรใส่ผงถ่านหรือผงยางมะตอยประมาณ 0.5-2% และซีลี้อยประมาณ 0.5-1.5% ลงไปด้วยเพื่อทำให้ง่ายต่อการถอดแบบ จากนั้นนำทรายที่ผ่านการผสมแล้วมาขึ้นแบบหล่อจนเสร็จเรียบร้อย นำก๊าซ CO₂ ที่ปรับความดันประมาณ 1-1.5 kg/cm² มาอัดผ่านแบบหล่อ ทรายโดยใช้หัวฉีดอัดที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ก๊าซ CO₂ จะทำปฏิกิริยากับน้ำแก้ว ทำให้แบบหล่อทรายแข็งตัวอย่างเร็ว ดังรูป



รูป แสดงขั้นตอนการทำแบบหล่อ CO₂

แบบหล่อทรายผสมซีเมนต์ (Sand Mold with Cement Binder)

เป็นการทำแบบหล่อจากการนำทรายแม่น้ำมาผสมกับปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ (Portland) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงให้กับแบบหล่อ แบบหล่อชนิดนี้มีข้อดี คือ เมื่อทำแบบหล่อเสร็จก็สามารถนำน้ำโลหะมาเทลงในโพรงได้ทันที (สำหรับงานขนาดเล็ก) แต่ถ้าเป็นแบบหล่อขนาดใหญ่ควรนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงก่อนเทน้ำโลหะ อัตราส่วนผสมของทรายหล่อที่เหมาะสมคือ ทรายแม่น้ำ 100% ปูนซีเมนต์ 8% น้ำ 6% แคลเซียมคลอไรด์ 0.5% และแคลเซียมซัลเฟต 0.5%

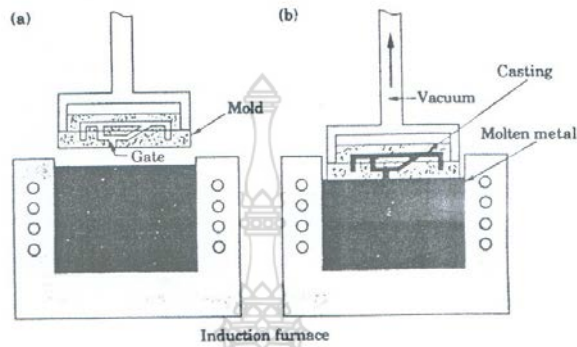
แบบหล่อเซรามิก (Ceramic-Mold Casting)

เป็นกระบวนการหล่อโลหะคล้ายกับการหล่อแบบ อินเวสต์เมนต์ แต่การหล่อด้วยวิธีนี้แบบหล่อจะใช้วัสดุที่ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ บางทีเรียกว่า Cope and Drag Investment Casting เซรามิกที่ใช้ทำแบบหล่อมีส่วนผสมคือเซอร์คอน (Zircon: ZrSiO₄) ละออง อลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกา พร้อมกับตัวประสาน เหมาะกับการหล่อเหล็กหรือโลหะผสม เช่น เหล็กสเตนเลสหรือเหล็กเครื่องมือ เพราะจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด และความเที่ยงตรงสูง ผิวเรียบ มีข้อเสียคือ ราคาแพง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ใบพัด คัดเตอร์ตัดโลหะ แม่พิมพ์ตัดดลหะ และแม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง หรือพลาสติก มีขั้นตอนการทำแบบหล่อ

การหล่อวิธีสูญญากาศ (Vacuum Casting)

หรือบางทีเรียกว่า Counter-Gravity Low-Pressure (CL) Process แบบหล่อทำด้วยทรายละเอียดผสมยูรีเทน (Urethane) แล้วบ่มใน Amine Vapor ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบอินเวสต์เมนต์แบบหล่อเปลือก หรือแบบหล่อทรายก็ได้ วิธีการคือ ต้องนำแบบหล่อที่ยึดติดกับชุดดูดอากาศออกที่อยู่ด้านบน ด้านล่างที่เป็นเตาหลอมโลหะส่วนมากใช้เตาเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) เมื่อหลอมละลายจนได้

น้ำโลหะแล้วก็นำแบบหล่อจุ่มลงในเตาหลอม โดยใช้แขนกลของหุ่นยนต์เป็นตัวควบคุมการจุ่ม เมื่อน้ำโลหะท่วมทางเข้า (Gate) ก็ทำการดูดอากาศออกจากแบบหล่อด้วยความดันประมาณ 2-3 บรรยากาศ น้ำโลหะจะถูกดูดเข้าจนเต็มโพรงของแบบหล่อ จากนั้นเลื่อนชุดแบบหล่อขึ้นเหนือเตาหลอม รอจนน้ำโลหะแข็งตัวจึงนำชิ้นงานออก ดังรูป



รูปแสดงการหล่อสูญญากาศ

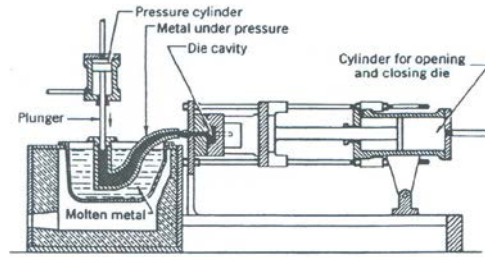
Die Casting

เป็นการหล่อโดยใช้แบบหล่อถาวร ลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องฉีดพลาสติก แต่แทนที่จะฉีดพลาสติกที่หลอมเหลวเข้าสู่แบบหล่อแทน ด้วยความดันประมาณ 7-350 Mpa (ขึ้นกับขนาดของเครื่องฉีด) โดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulics) หรือระบบนิวเมติก (Pneumatic) ได้ชิ้นงานที่มีขนาดและมิติเที่ยงตรงเหมาะแก่การใช้งานที่มีจำนวนการผลิตมาก ๆ แบบหล่อที่เป็นโลหะจะเรียกว่า แม่พิมพ์ (Die) มี 2 ซีก คือ ซีกที่ยึดติดกับแผ่นหน้า (Front Platen) จะไม่เคลื่อนที่ (Fix Die Half) และอีกซีกหนึ่งจะยึดติดกับแผ่นเคลื่อนที่ (Moving Platen) จะเคลื่อนที่ทำหน้าที่คอยเปิด-ปิด ดังรูปมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ



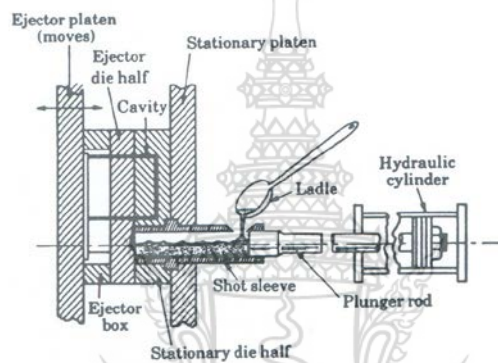
รูปแสดงส่วนประกอบของ Die Casting Machine

- แบบอ่างร้อน (Hot Chamber Machines) ชนิดนี้จะมีอ่างหลอมละลายน้ำโลหะอยู่ติดกับตัวเครื่องจักร โดยมีลูกสูบ (Plunger) เป็นตัวอัดฉีดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ภายใต้ความดันสูงประมาณ 7-35 MPa ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 4.27 สามารถทำการผลิตได้ถึง 500 ชิ้นต่อชั่วโมง แต่มีข้อจำกัด คือ โลหะที่เป็นชิ้นงานต้องมีจุดหลอมเหลวต่ำ และไม่ทำปฏิกิริยากับลูกสูบหรืออุปกรณ์ที่ทำการฉีด เช่น สังกะสี ดีบุก ตะกั่ว และแมกนีเซียม



รูปแสดงขั้นตอนการทำงานแบบอ่างร้อน

- แบบอ่างเย็น (Cold Chamber Machine) อ่างหลอมละลายน้ำโลหะจะแยกต่างหากจากตัวเครื่องจักร แต่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อให้สามารถขนถ่ายน้ำโลหะได้สะดวก ความดันที่ใช้ในการฉีดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ประมาณ 14-140 MPa มีขั้นตอนการทำงาน ดังรูป

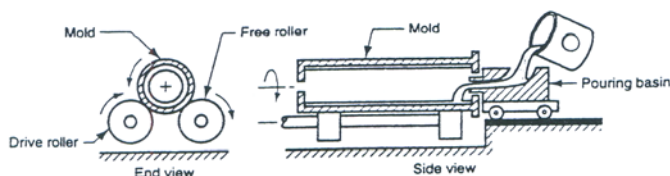


รูปแสดงขั้นตอนการทำงานแบบอ่างเย็น

การหล่อเหวี่ยง (entrifugal Casting)

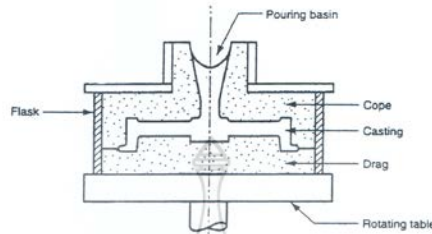
วิธีการนี้เหมาะกับงานที่มีลักษณะทรงกระบอก โดยแม่พิมพ์จะต้องหมุนด้วยความเร็วรอบสูง เพื่อเหวี่ยงให้น้ำโลหะกระจายตัวออกในลักษณะนี้ศูนย์กลางไปอยู่ที่ผนังของแม่พิมพ์ จนกระทั่งน้ำโลหะแข็งตัวจึงหยุดหมุนแม่พิมพ์ความหนาของชิ้นงานถูกควบคุมโดยปริมาณของน้ำโลหะที่ได้เข้าไปคือ ถ้ามีน้ำโลหะมากขึ้นงานจะมีความหนามาก การหล่อแบบนี้มีต้นทุนถูกเพราะว่าไม่ต้องใช้ได้แบบ และรูฉล การหล่อเหวี่ยง ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- การหล่อเหวี่ยงแบบหนีศูนย์กลางโดยตรง (True Centrifugal Casting) วิธีนี้จะได้ชิ้นงานมีลักษณะทรงกระบอกตรง เช่น ท่อทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ บูช ไลเนอร์ และแหวน เป็นต้น มีลักษณะการทำงาน ดังรูป การแข็งตัวของน้ำโลหะจะเริ่มจากผนังของแบบหล่อเข้าสู่ส่วนกลาง



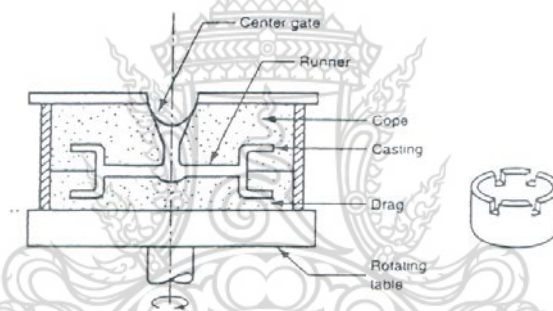
รูปแสดงการหล่อเหวี่ยงแบบหนีศูนย์กลางโดยตรง

การหล่อเหวี่ยงแบบกึ่งหนีศูนย์กลาง (Semicentrifugal Casting) วิธีการนี้เป็นการหล่องานที่มีได้เนื้อโลหะเต็มแม่พิมพ์ ดังรูป ความเร็วรอบในการหมุนจะใช้เพียงครึ่งเดียว ตรงกลางของโพรงแม่พิมพ์ด้านบนจะมีช่องสำหรับเติมน้ำโลหะความหนาแน่นของเนื้อโลหะงานหล่อที่บริเวณด้านนอก จะมีค่ามากกว่าบริเวณศูนย์กลางของการหมุน กระบวนการนี้เหมาะกับการหล่อประเภท ล้อ เฟือง และพูลล์



รูปแสดงการหล่อเหวี่ยงแบบกึ่งหนีศูนย์กลาง

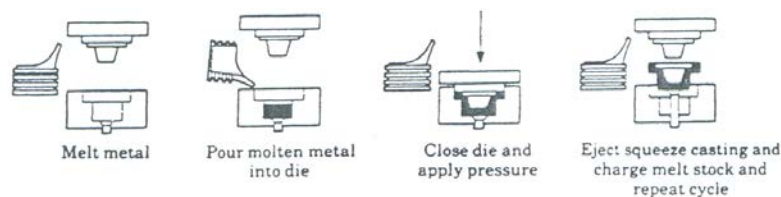
- การหล่อโดยการเหวี่ยงจากศูนย์กลาง (Centrifuge Casting) ดังรูปแม่พิมพ์ถูกออกแบบให้น้ำโลหะวิ่งเข้าโพรงจากศูนย์กลางการหมุน และโดยการเหวี่ยงเหมาะกับการงานที่มีขนาดเล็ก รูปร่างซับซ้อนและงานที่มีรูปร่างเหมือนกัน ทั้งสองด้านในแนวรัศมี



รูป แสดงการหล่อโดยการเหวี่ยงจากศูนย์กลาง

การหล่อบีบอัด (Squeeze Casting)

หรือบางที่เรียกว่า Liquid Metal Forging เป็นกระบวนการหล่อโดยการบีบอัดน้ำโลหะภายใต้แรงดันสูง ดังรูป ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เป็นแม่พิมพ์บน (Punch) แม่พิมพ์ล่าง (Die) ชุดหัวฉีด (Injector Pin) แรงดันที่ใช้ในการกดแม่พิมพ์บนซึ่งออกแบบให้สามารถไถก้านในน้ำโลหะในขณะที่สัมผัสกับแม่พิมพ์ และสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ชิ้นงานหล่อที่ได้จะมีโครงสร้างละเอียดและมีคุณสมบัติทางกลดี รูปร่างและมิติเที่ยงตรง มีผิวเรียบ เหมาะกับการงานโลหะนอกกลุ่มเหล็ก และโลหะผสม เช่น กระดาษล้อยนต์ และกระบอกปืนแบบสั้น แรงดันที่ใช้ก่อกมมีค่าน้อยกว่าการใช้ในการตีขึ้นรูป (Forging)



รูป แสดงการหล่อบีบอัด

การหล่อแบบโพรง (Slush Casting)

เหมาะกับการหล่อลวดที่มีผนังบาง ๆ เช่น เครื่องประดับ รูปปั้นที่ภายในกลวง และของเล่น เป็นต้น การหล่อไม่ต้องใช้ไส้แบบ วิธีการคือ เทน้ำโลหะเหลวลงสู่แบบ แล้วรีบพลิกแบบหล่อเพื่อน้ำโลหะออกโดยเร็ว โลหะที่นำมาหล่อจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น สังกะสี บรอนซ์

