

บทที่ 7

การต่อวัสดุ (Materials Joining)



รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Joining methods diagram

OPERATION

JOINING METHOD

WELDING PROCESS CLASS

เชื่อมแบบหลอมละลาย

เชื่อมแบบไม่หลอมละลาย

บัดกรีแข็ง 450°C ขึ้น

บัดกร้อ่อน ไม่เกิน 450 °C

MATERIALS
JOINING

MECHANICAL FASTENING

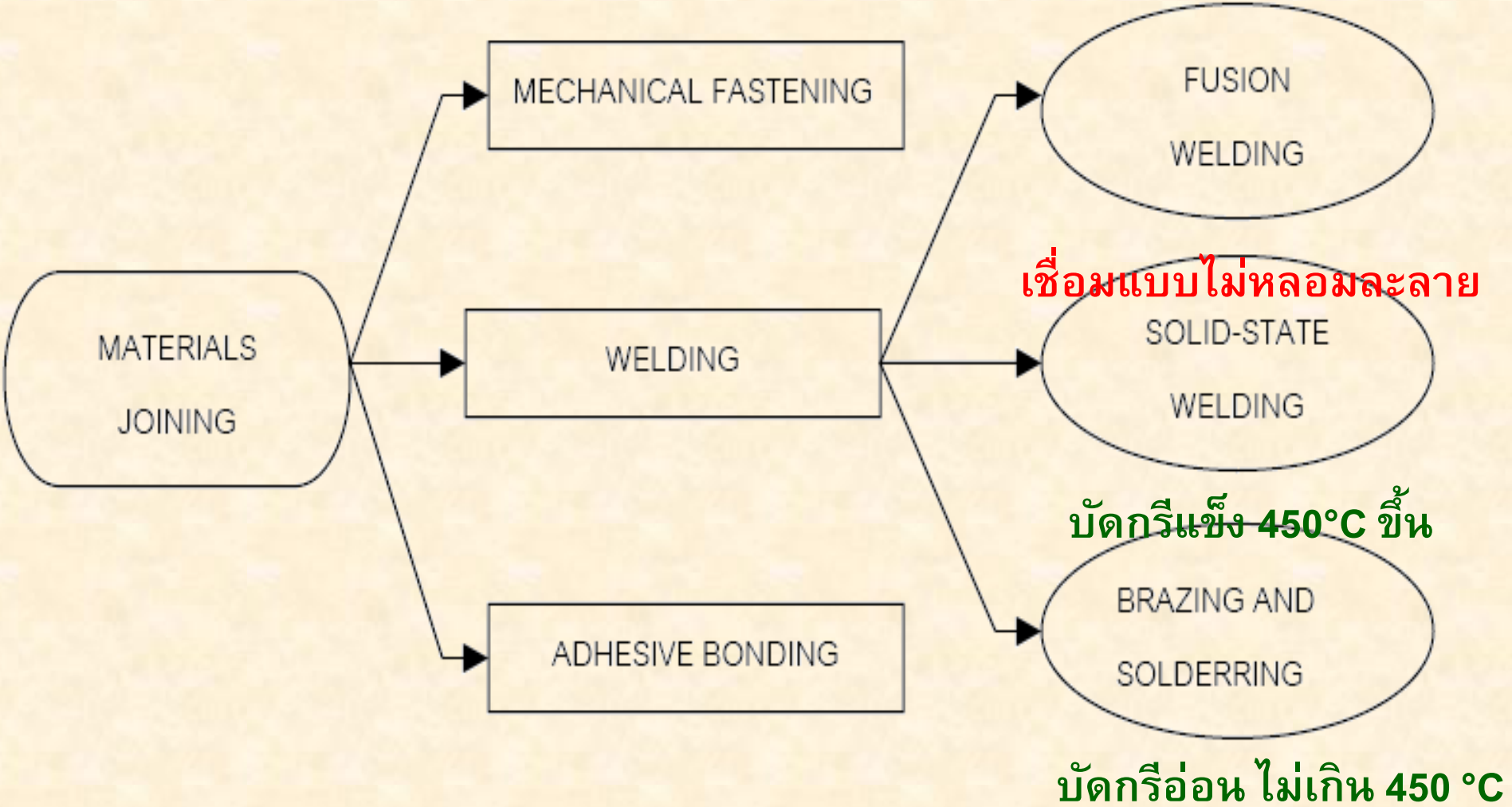
WELDING

ADHESIVE BONDING

FUSION
WELDING

SOLID-STATE
WELDING

BRAZING AND
SOLDERING



WELDING

ข้อดีของการเลือกใช้กรรมวิธีการเชื่อมในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกันคือ

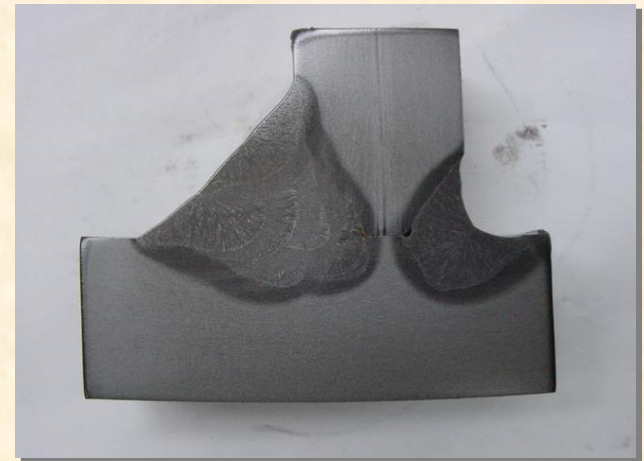
1. การเชื่อมเป็นกรรมวิธีที่ง่ายในการปฏิบัติงาน
2. การเชื่อมมีค่าใช้จ่ายถูก
3. การเชื่อมเป็นกรรมวิธีที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติความแข็งแรงและทำให้จุดเชื่อมต่อมีความแข็งแรง
4. การเชื่อมนั้นสามารถซ่อมแซมได้ง่ายเมื่อมีการเสียหายเกิดขึ้น
5. การเชื่อมเป็นกรรมวิธีที่ไม่เพิ่มน้ำหนักและขนาดให้กับชิ้นงาน
6. การเชื่อมจะทำให้ชิ้นงานที่ประกอบเสร็จนั้นไม่โยกคลอนง่าย



WELDING

ข้อเสียของการใช้วิธีการเชื่อมในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกันคือ

1. หลังการเชื่อมแล้ว บริเวณที่เชื่อมต่อกับจะเกิดความเค้นตกค้างเกิดขึ้น
2. เกิดการบิดหรือเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนบริเวณที่เชื่อมต่อกับ
3. โครงสร้างของโลหะจะเปลี่ยนรูปไป และมีความไม่สม่ำเสมอของเกรนโลหะเกิดขึ้น
4. เมื่อต้องแยกชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกับเข้าด้วยกันแล้ว จะทำได้โดยยาก



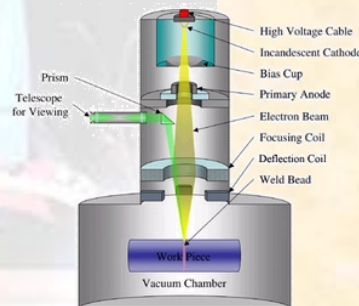
ประเภทของงานเชื่อม:

งานเชื่อมมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ถ้าแบ่งตามลักษณะการทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มด้วยกันคือ

1. การเชื่อมอาร์ค (Arc Welding)

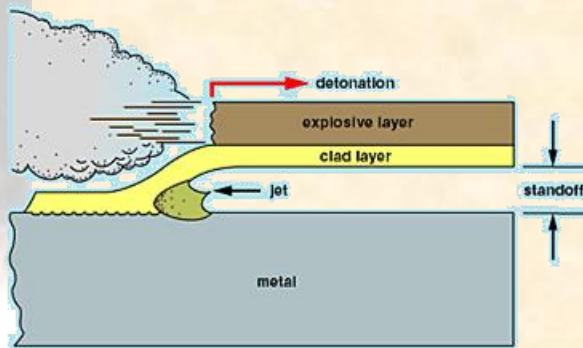


2. การเชื่อมความเข้มของพลังงานสูง (High Energy Density Welding)

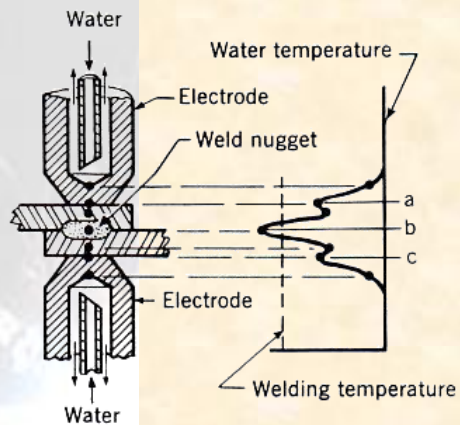


ประเภทของงานเชื่อม:

3. การเชื่อมในภาวะของแข็ง (Solid State Welding)

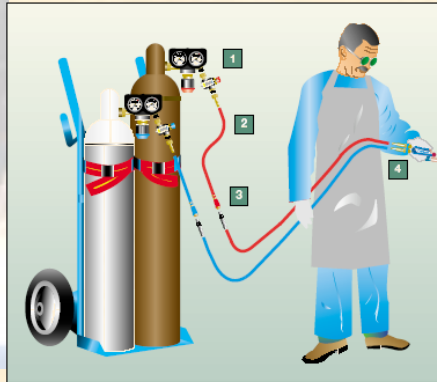


4. การเชื่อมความต้านทาน (Resistance Welding)

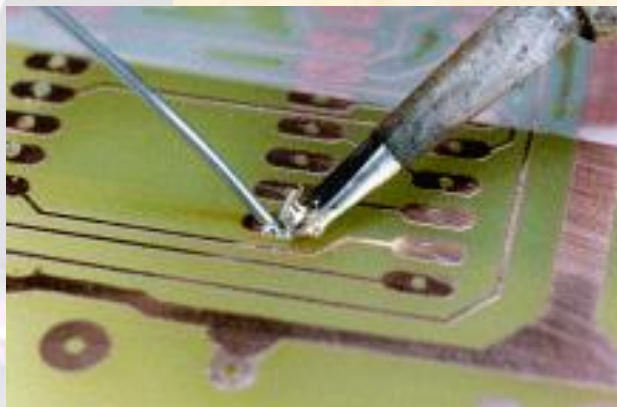


ประเภทของงานเชื่อม:

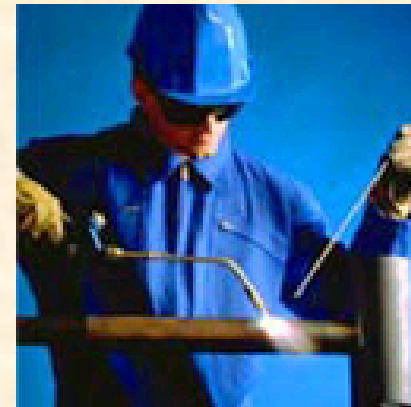
5. การเชื่อมในปฏิกิริยาเคมี (Chemical Welding)



6. การบัดกรี (Soldering)



7. การบัดกรีแข็ง (Brazing)



งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

1.1 งานเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดที่มีสารพอกหุ้ม (Shield Metal Arc Welding, SMAW) :

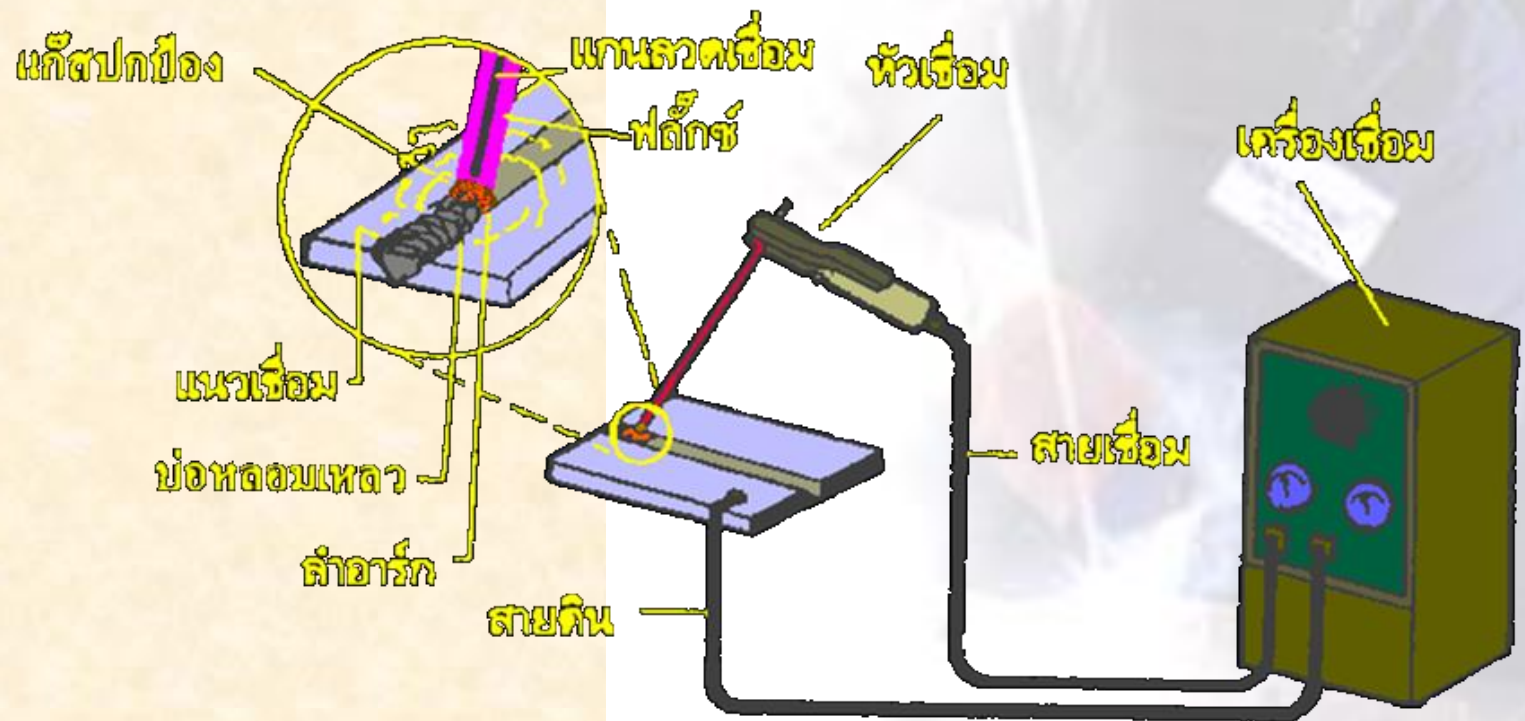
คือ การเชื่อมอาร์ค ซึ่งการยึดเหนี่ยวเกิดจากความร้อนที่เกิดจากการอาร์ค ระหว่างลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มกับชิ้นงาน แก๊สที่ปกคลุมเกิดขึ้นจากการสลายตัวของ



สารพอกหุ้มและโลหะเติมได้จากตัวลวดเชื่อม สามารถเชื่อมได้ทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ, ปานกลาง, สูง, เหล็กกล้าไร้สนิม, เหล็กหล่อ และทองแดง นิยมใช้ในงานภาคสนามเนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและไม่ต้องระวังเรื่องแก๊สปกคลุม

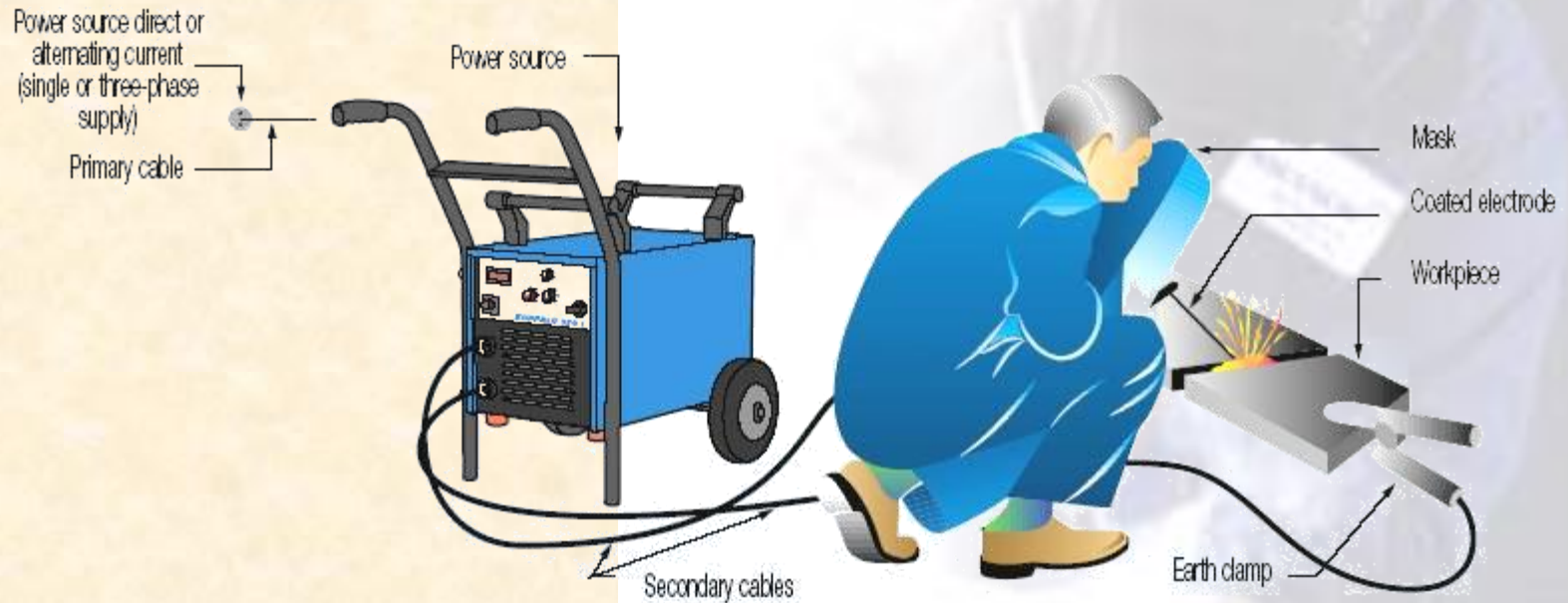
งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

หลักการการทำงานเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดที่มีสารปกหุ้ม (Shield Metal Arc Welding, SMAW) :



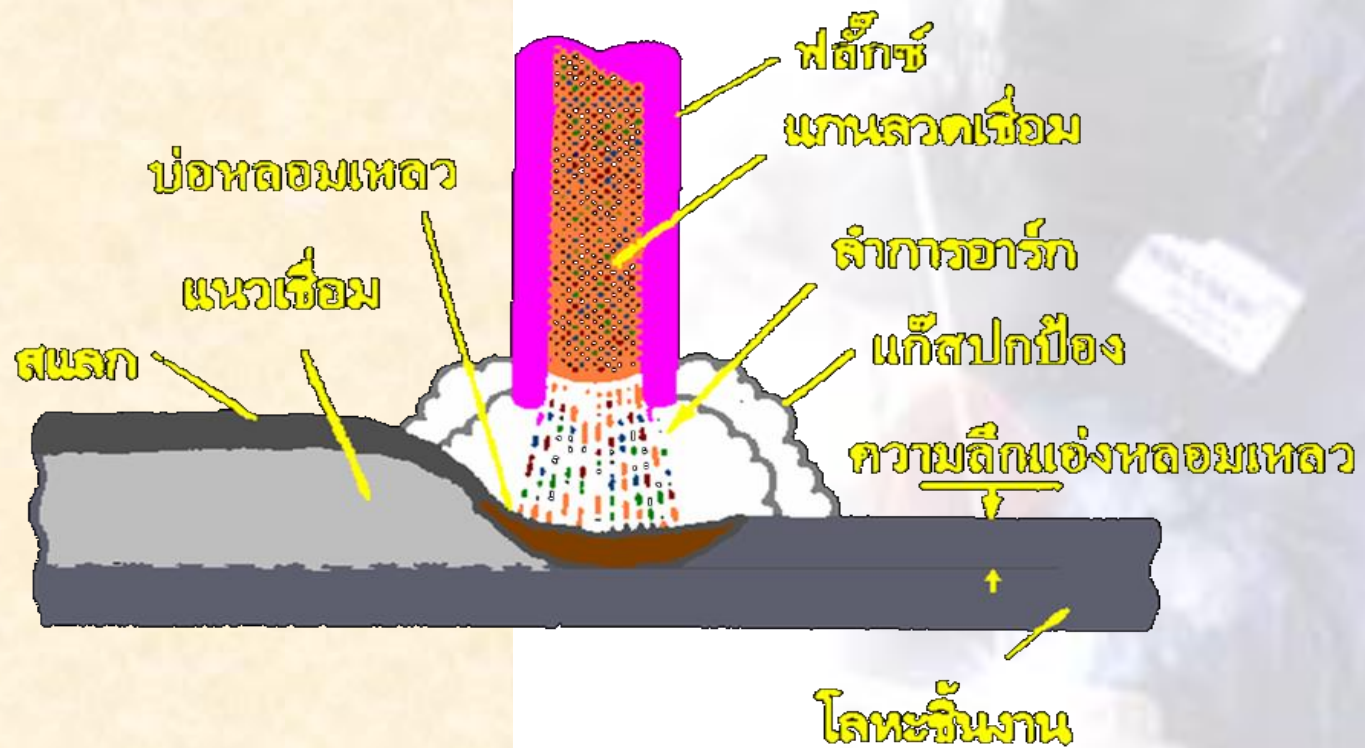
งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

หลักการการทำงานเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดที่มีสารพอกหุ้ม (Shield Metal Arc Welding, SMAW) :



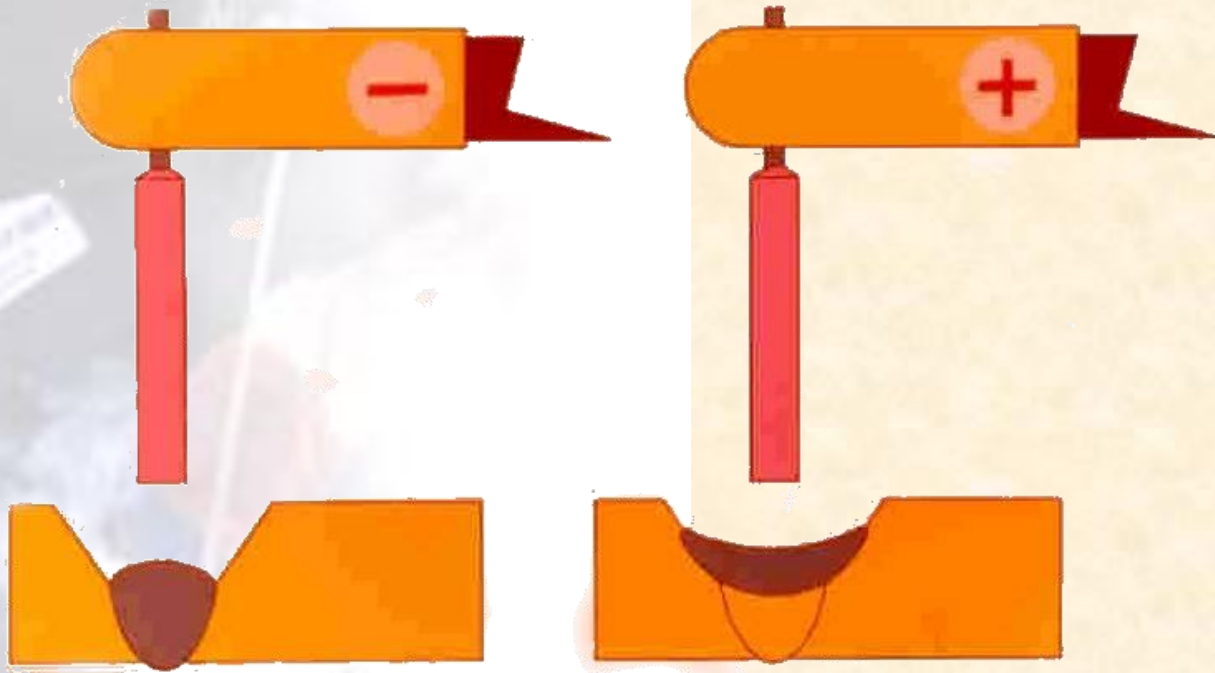
งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

หลักการการทำงานเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดที่มีสารพอกหุ้ม (Shield Metal Arc Welding, SMAW) :



งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

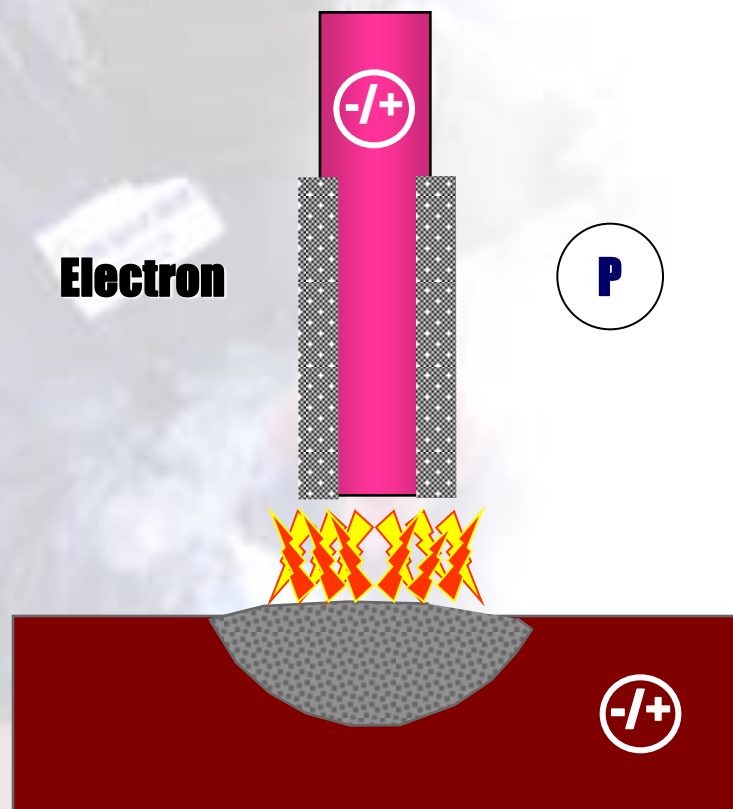
ลักษณะชิ้นงานที่ทำการต่อข้อแบบ $DC- / DC +$:



งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

การต่อขั้วไฟฟ้าแบบ AC (Alternating Current):

AC Alternating Current



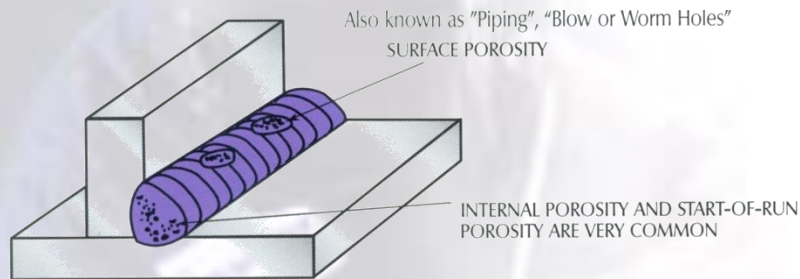
การต่อขั้วแบบนี้การสลับขั้วเชื่อม
ไม่มีผลต่าง เนื่องจาก



งานเชื่อม Arc Welding (SMAW):

การเชื่อมกระแส DC ผิดจั่วจากที่ระบุ จะทำให้เกิด:

- รูพรุน (Porosity)



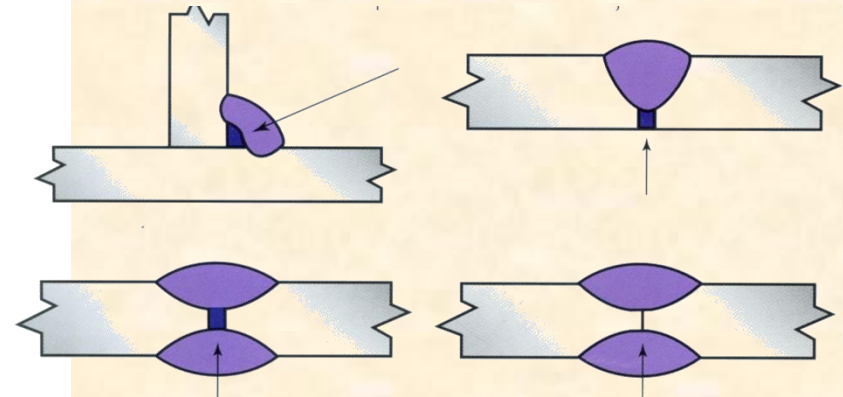
- สะเก็ดโลหะมาก (Spatter)



- สแลกฝังใน (Slag Inclusion)



- ชิมลึกไม่เพียงพอ (Incomplete Penetration)



- อาร์คไม่เสถียร (Unstable Arc)

งานเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุม (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW) :



TIG ย่อมาจากคำว่า

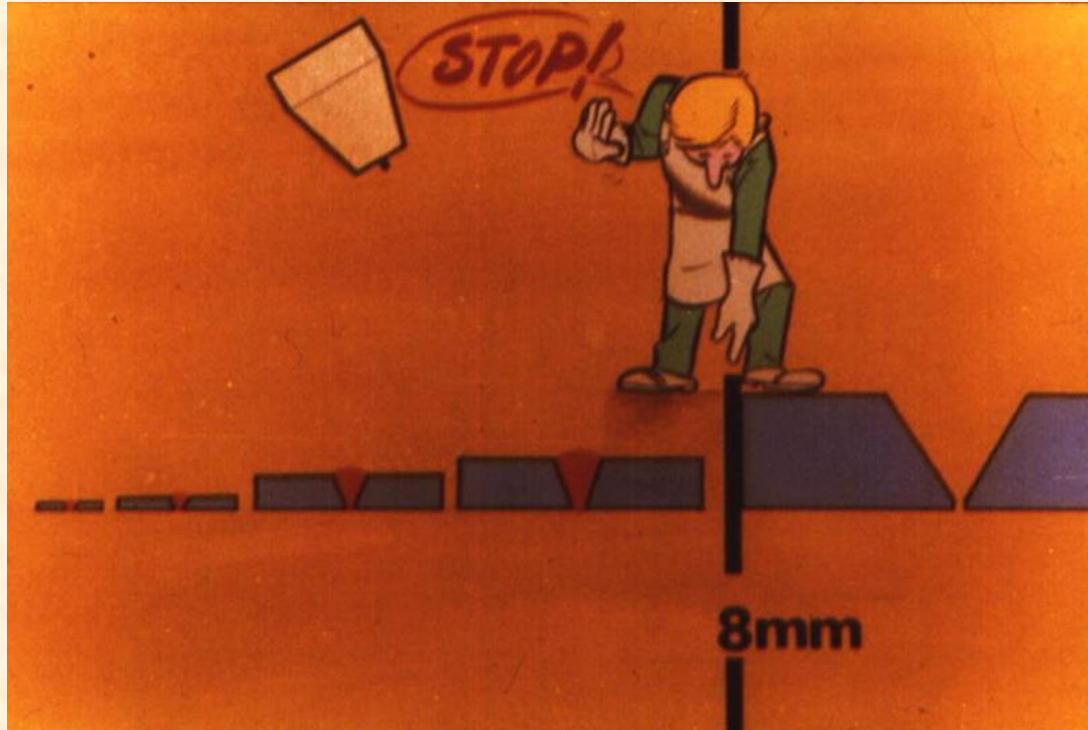
T = Tungsten (ทั้งสแตน)

I = Inert (ความเฉื่อย)

G = Gas (แก๊ส)

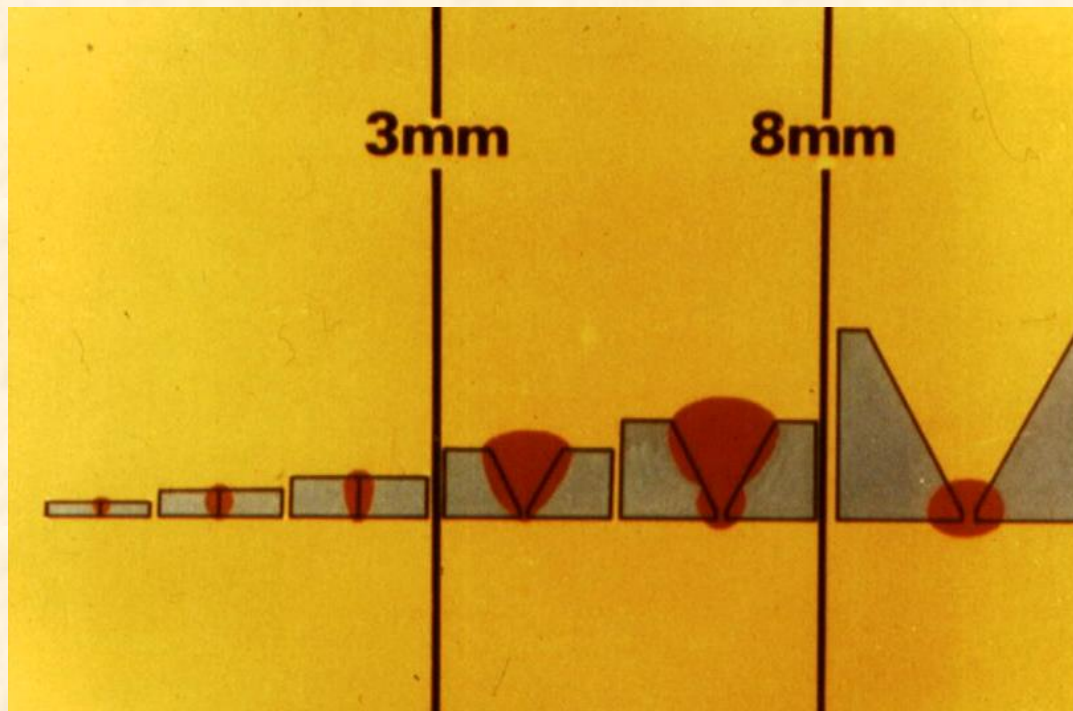
คือ การทำให้ชิ้นงานสองชิ้นติดกันโดยอาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างแท่งอิเล็กโทรดที่ทำจากทั้งสแตนกับตัวชิ้นงาน การปกคลุมแนวเชื่อมอาศัยแก๊สเฉื่อยหรือแก๊สผสมส่วนการเติมน้ำโลหะได้จากการเติมลวดเชื่อมจากภายนอก

งานเชื่อมอาร์คทั้งส텐ใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุม (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW) :



การใช้งานส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานเชื่อมโลหะแผ่นบาง (ความหนาไม่เกิน 8 mm.) โลหะที่ทำการเชื่อมได้ยากหรืองานที่ต้องการคุณภาพผิวงานสูงเพราะการเชื่อมด้วยวิธีนี้จะไม่ค่อยเกิดสะเก็ดหรือสะเก็ดหลังจากการเชื่อม

การเตรียมชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม :



- ความหนาไม่เกิน 3 มม. เชื่อมต่อชนได้โดยไม่ต้องบากงาน
- ความหนา 4-8 มม.เชื่อมต่อกันบากงาน
- ความหนาเกิน 8 มม.เชื่อมได้เฉพาะแนวรูท (Root)

ข้อดีและข้อจำกัดของการเชื่อม TIG :

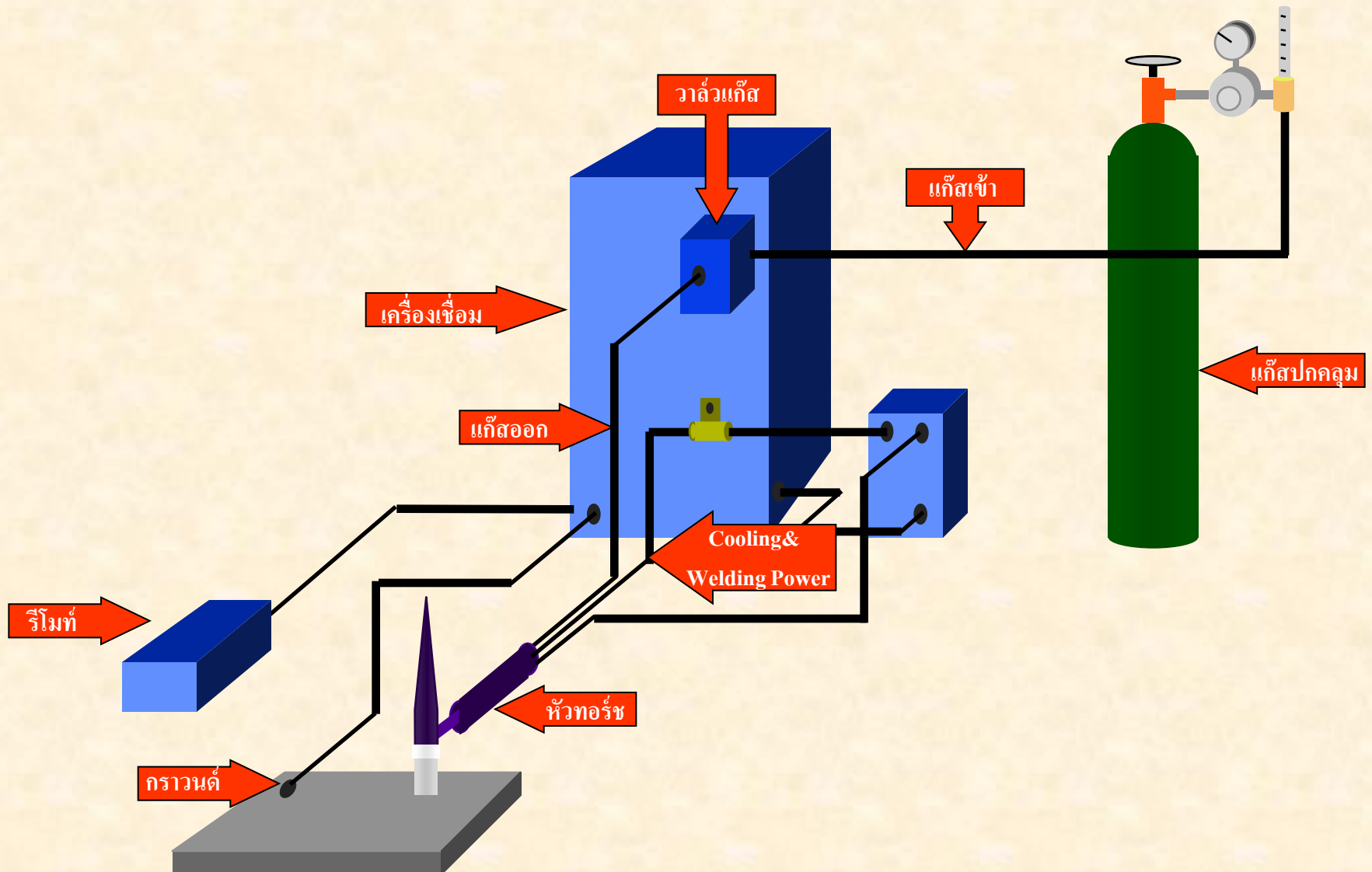
ข้อดีของการเชื่อมทิก

1. แนวเชื่อมสะอาดปราศจากแสงประกาย
2. ไม่มีสะเก็ดโลหะ
3. ไม่มีควัน
4. สามารถมองเห็นบ่อหลอมละลายได้ชัดเจน
5. ไม่มีเสียงดังรบกวน

ข้อจำกัดของการเชื่อมทิก

1. อัตราการเติมหลอดช้าทำให้เชื่อมได้ช้า
2. ต้องใช้ทักษะในการเชื่อมสูง
3. ค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเชื่อมงานหนา
4. ให้การอาร์คที่มีแสงสว่างจ้า กว่ากระบวนการเชื่อมอื่นไม่มีควัน หรือ ฝุ่น แต่มีรังสี
5. ให้แก๊สที่เป็นอันตราย เป็นพิษ ชื่นงานต้องการความสะอาด

ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อม TIG :



เครื่องเชื่อม TIG :



งานเชื่อมอาร์คโลหะโดยใช้แก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding, GMAW) :

เป็นการทำให้ชิ้นงานติดกันโดยอาศัยความร้อนจากการอาร์คลวดเชื่อมเปลี่ยนกับชิ้นงาน โดยลวดเชื่อมจะถูกป้อนเองโดยอัตโนมัติและอาศัยแก๊สจากภายนอกมาช่วย



ปกป้องกันแนวเชื่อม ซึ่งแก๊สที่ใช้เชื่อมยังเป็นตัวแบ่งวิธีการเชื่อมด้วย เช่น

-แก๊สเฉื่อย (แก๊สอาร์กอน : Ar) ใช้ใน

ขบวนการเชื่อม **MIG**

-แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เรียกชื่อการเชื่อม CO_2 หรือ เรียกว่าการเชื่อม **MAG**

การเชื่อมด้วยแก๊ส CO_2 ปัญหาที่ตามมาคือ การแตกตัวของออกซิเจนเข้าไปผสมกับ

แนวเชื่อม จึงจำเป็นต้องประสมสารออกซิไดเซอร์เพื่อกำจัดออกซิเจนลงไปด้วย

การเชื่อม MIG/MAG :

การเชื่อม **MIG/MAG** ต่างกันอย่างไร



MIG ย่อมาจากคำว่า

M = Metal (โลหะ)

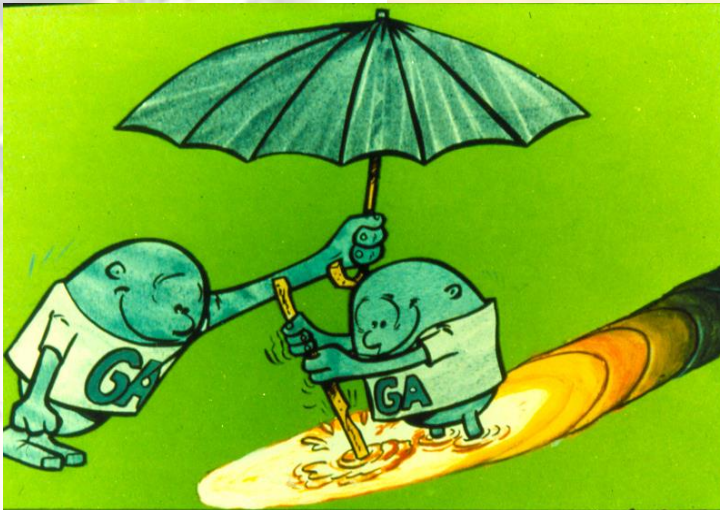
I = Inert (ความเฉื่อย)

G = Gas (แก๊ส)

ความหมาย คือ การเชื่อมโลหะ
โดยใช้แก๊สเฉื่อยเป็นแก๊สปกคลุม

การเชื่อม MIG/MAG :

แกสเฉื่อย มีคุณสมบัติเป็น
แกสที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเนื้อเชื่อมโดย
จะทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมเพียง
อย่างเดียวชนิดของแกสเฉื่อยได้แก่
แกสอาร์กอน แกสฮีเลียม



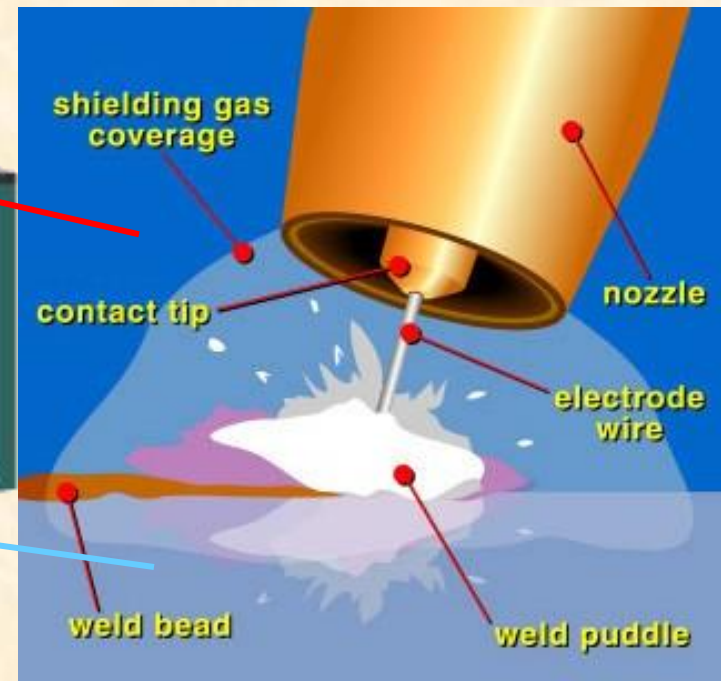
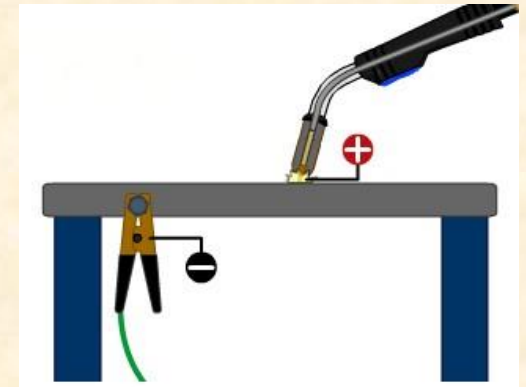
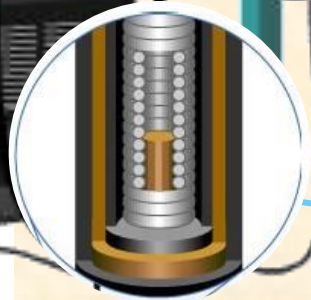
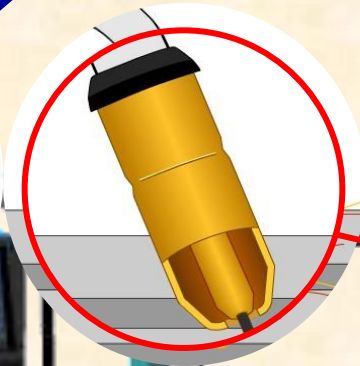
ส่วนคุณสมบัติของ **แอคทีฟแกส** จะทำ
หน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมและขณะเดียวกัน
จะลงไปทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ซึ่ง
ได้แก่ แกสคาร์บอนไดออกไซด์
แกสออกซิเจน และแกสไฮโดรเจน

หลักการเชื่อม *MIG/MAG* :

การอาร์คจะเกิดขึ้นระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ซึ่งลวดเชื่อมจะป้อนอัตโนมัติ ขณะเดียวกันจะมีแก๊สไหลมาปกคลุมบ่อหลอมละลาย



หลักการเชื่อม MIG/MAG :



ความสามารถในการเชื่อม MIG/MAG :

โลหะที่สามารถเชื่อมได้

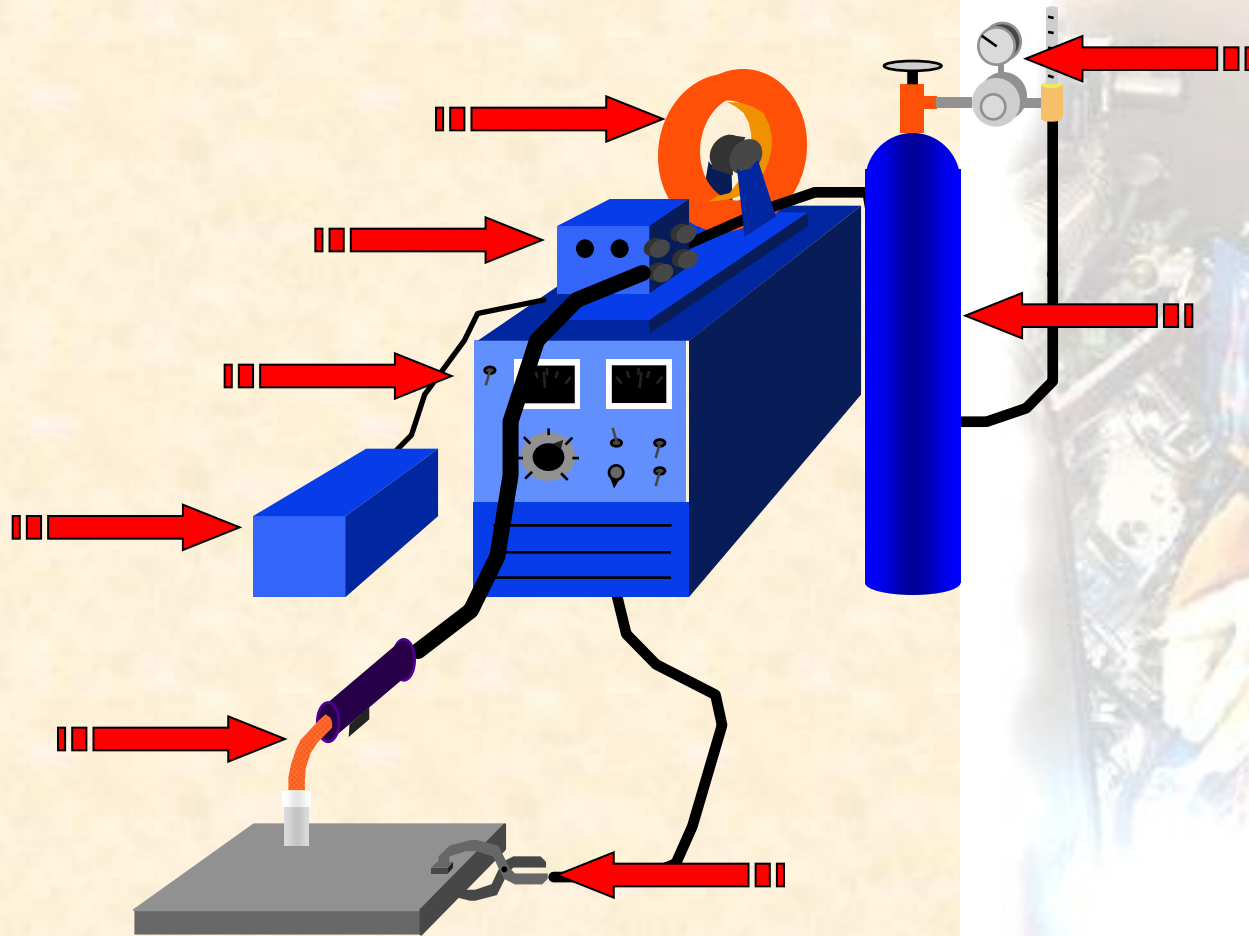
- โลหะเหล็ก mild and low alloy steels
- สแตนเลส stainless steel
- อลูมิเนียม aluminum
- ทองแดง copper

สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม



และมีจุดเด่นที่สามารถเชื่อมได้
อย่างรวดเร็วและแนวเชื่อมสะอาด
ปราศจากสแลก

เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์ :



ชุดหัวเชื่อม :

หัวเชื่อมแบบคอห่าน เป็นที่นิยมใช้งานทั่วไปเพราะสามารถเชื่อมได้ดีกับทุกรอยต่อ

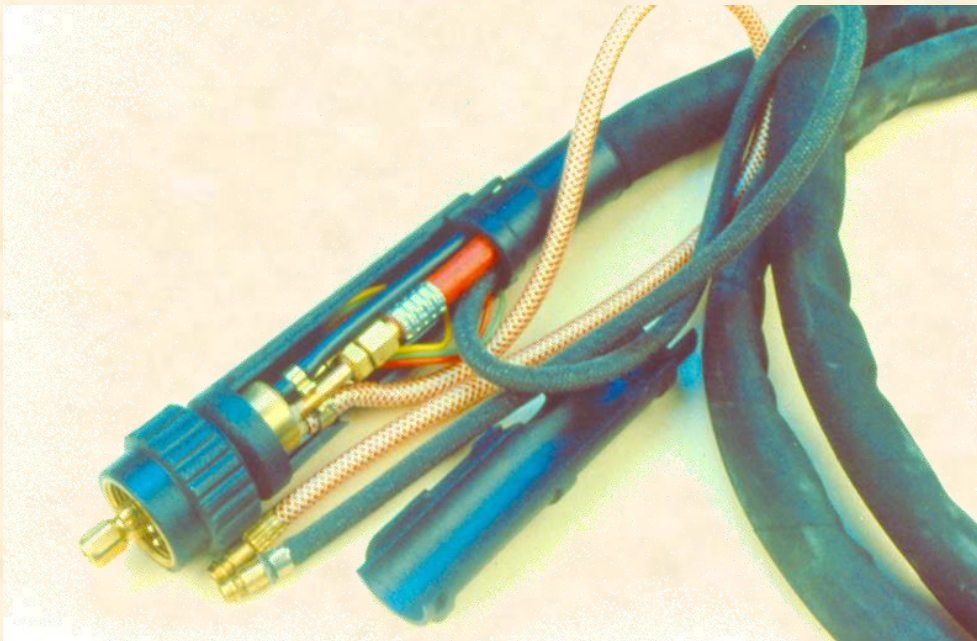


หัวเชื่อมแบบปืน นิยมนำมาใช้กับลวดเชื่อมขนาดเล็กและลวดเชื่อมอลูมิเนียม

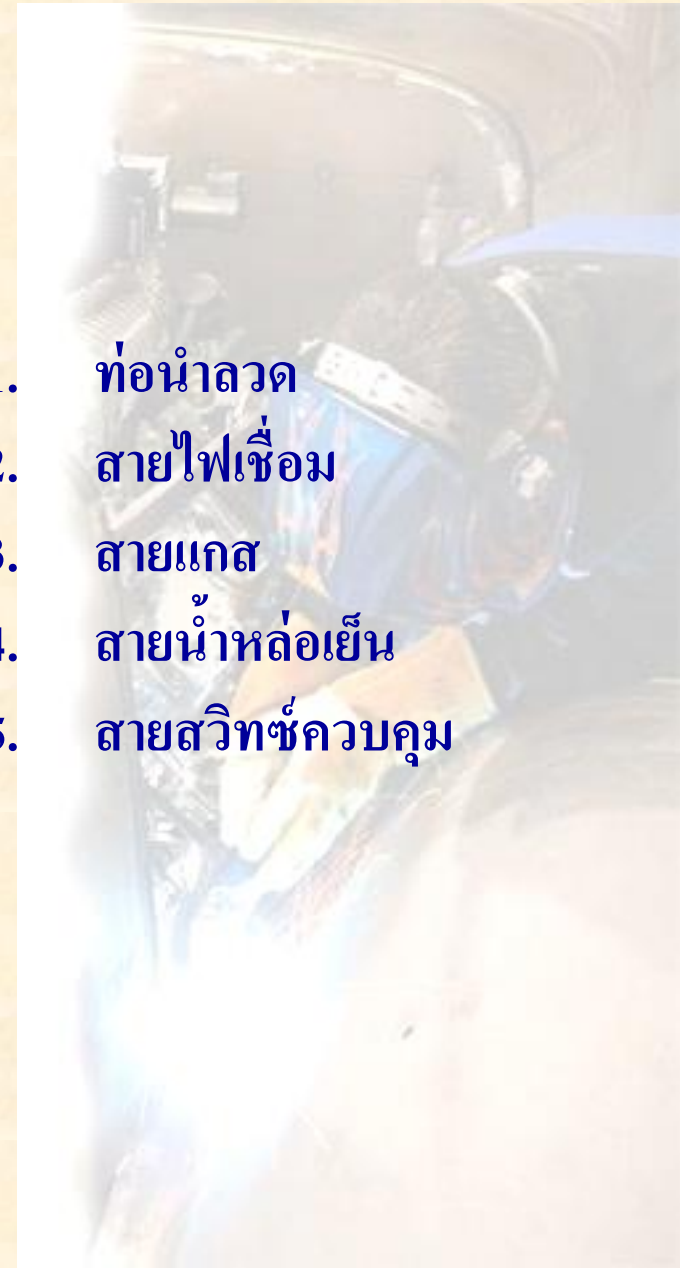


สายเชื่อม :

สายเชื่อมประกอบไปด้วย



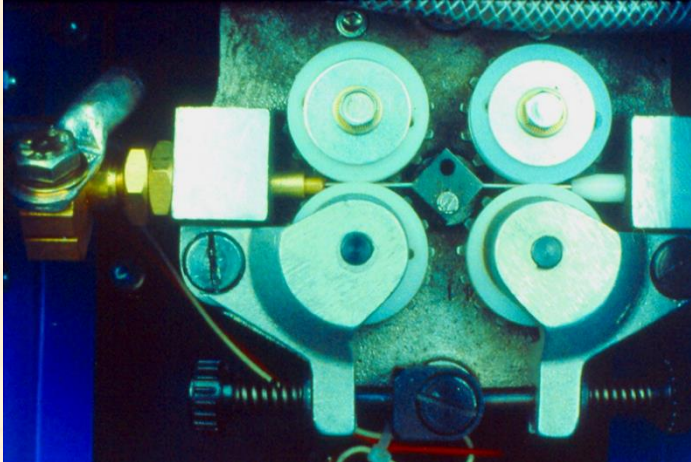
1. ท่อนำลวด
2. สายไฟเชื่อม
3. สายแกส
4. สายน้ำหล่อเย็น
5. สายสวิตช์ควบคุม



ชุดปั๊มลวด :

ประกอบด้วย ล้อขับเคลื่อนและท่อนำลวดเข้า/ออกทำหน้าที่ปั๊มลวดเชื่อม
ส่งไปยังหัวเชื่อม

ล้อขับเคลื่อน มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ



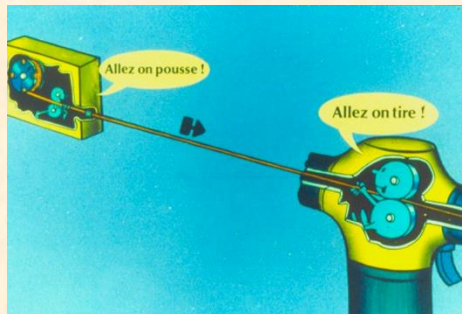
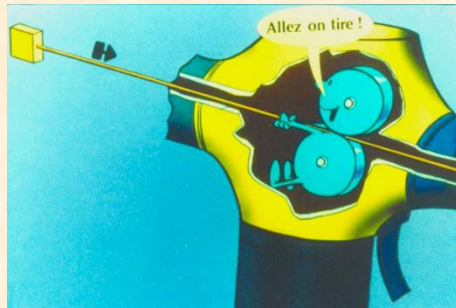
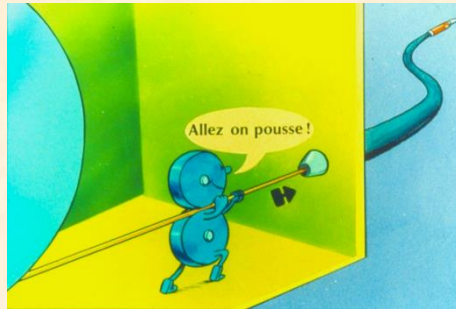
1. แบบร่อง V ใช้กับลวดเหล็ก

2. แบบร่อง U ใช้กับลวดอลูมิเนียม



ชุดป้อนลวด :

วิธีการป้อนลวด มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ



1. แบบผลัก เหมาะกับลวดเชื่อมเหล็ก

และสแตนเลสที่มีความยาวสาย

ประมาณ 3 – 4 เมตร

2. แบบดึง เหมาะกับลวดเชื่อมอลูมิเนียม

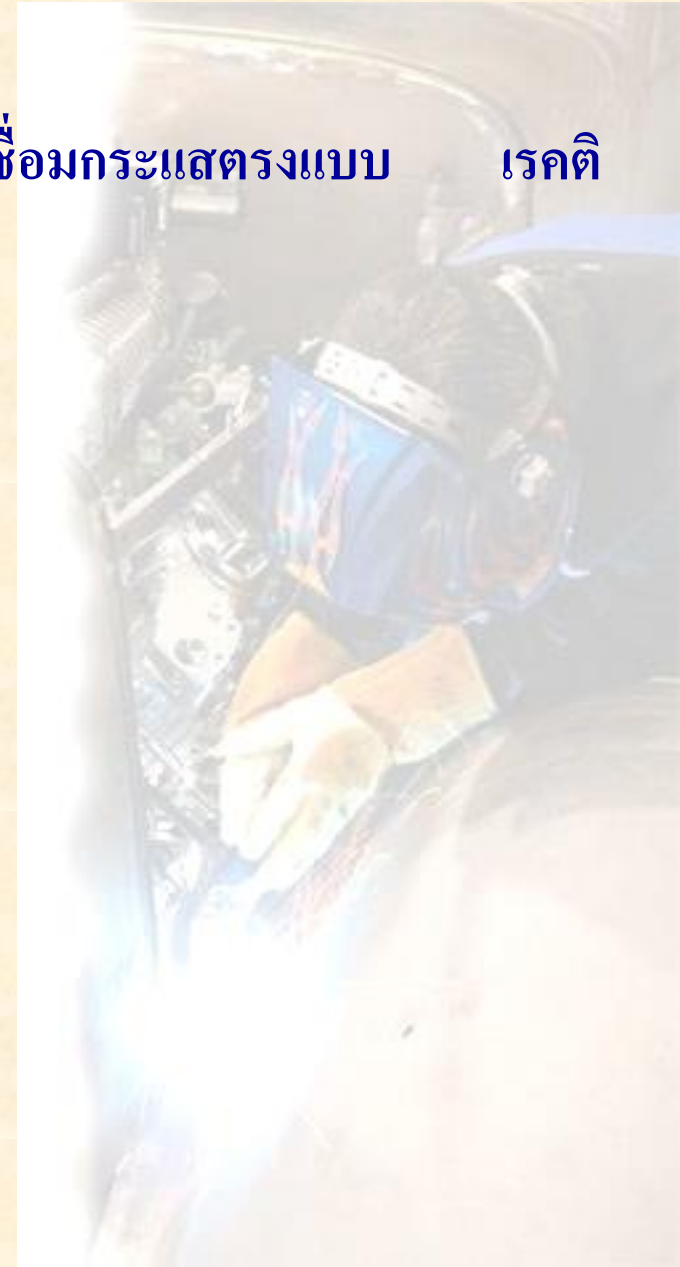
เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1 mm.

3. แบบผลักและดึง เหมาะกับลวด

อลูมิเนียมที่มีความยาว 8 – 12 m.

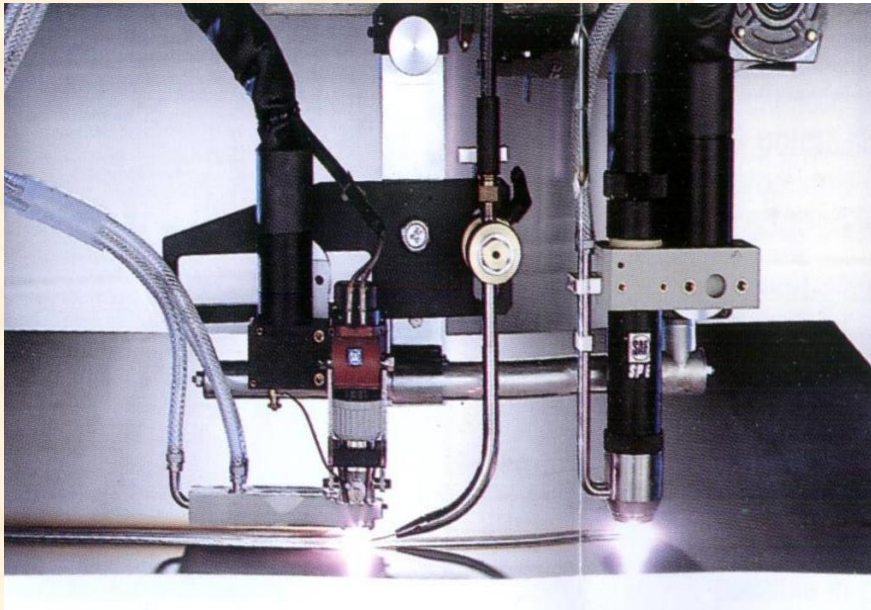
เครื่องเชื่อม :

เครื่องเชื่อมส่วนใหญ่ที่นิยมใช้จะเป็นเครื่องเชื่อมกระแสตรงแบบ
ไฟเออร์



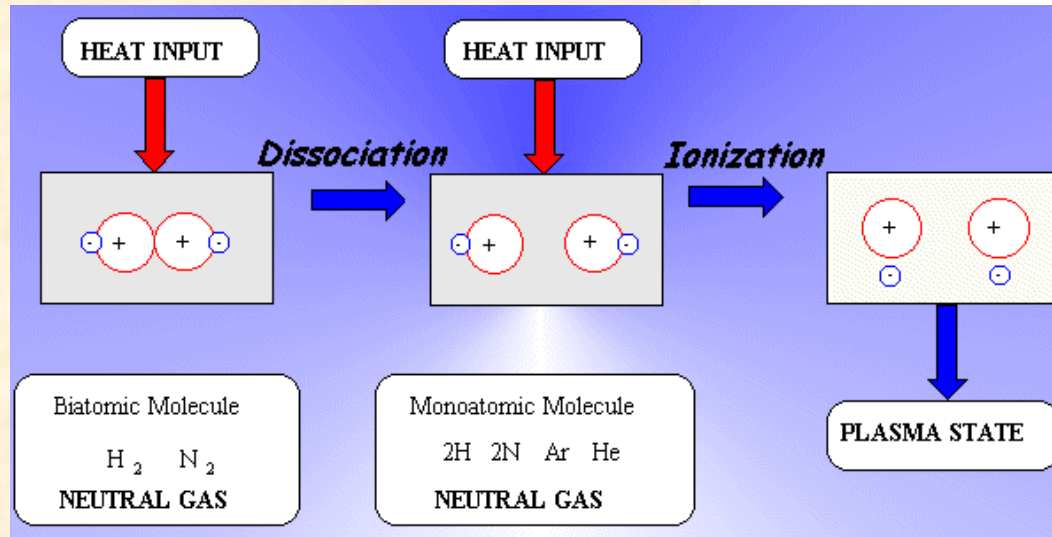
งานเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding, PAW) :

คือขบวนการเชื่อมที่การยึดเหนี่ยวเกิดจากการอาร์คที่ถูกบีบตัวระหว่างขั้วเชื่อมไฟฟ้ากับตัวชิ้นงาน (Transfer Arc) หรือระหว่างขั้วเชื่อมไฟฟ้ากับหัวเชื่อม (Nontransfer Arc) การป้องกันแนวเชื่อมได้จากแก๊สร้อนที่ไอออกนอกระหว่างหัว



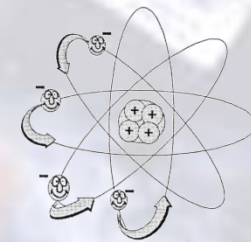
เชื่อม แก๊สคลุมได้มาจากแก๊สเฉื่อย หรือแก๊สผสม อาจจะมีควัน หรือไม่ก็ได้ ส่วนการเติมน้ำโลหะ สามารถเติมจากลวดเชื่อมภายนอกได้ ลักษณะรอยเชื่อมจะซึมลึกสูง เหมาะกับการเชื่อมชิ้นงานขนาดเล็ก หรือบาง

งานเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding, PAW) :



พลาสมา คือสถานะที่ 4
ของสสาร เกิดจากการ
แตกตัวเป็นไอออนไนซ์

เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความเป็นกลางทาง
ไฟฟ้า และอะตอมอยู่ในสภาวะสมดุล จะมีจำนวน
อิเล็กตรอน (ประจุลบ) และโปรตอน (ประจุบวก) ใน
จำนวนเท่าๆกัน

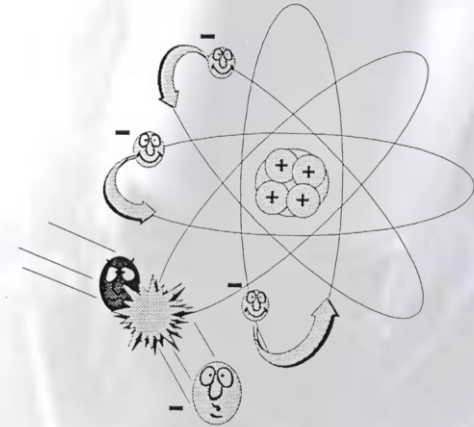


THE ELECTRICAL CHARGE
OF AN ATOME
IS NEUTRAL



งานเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding, PAW) :

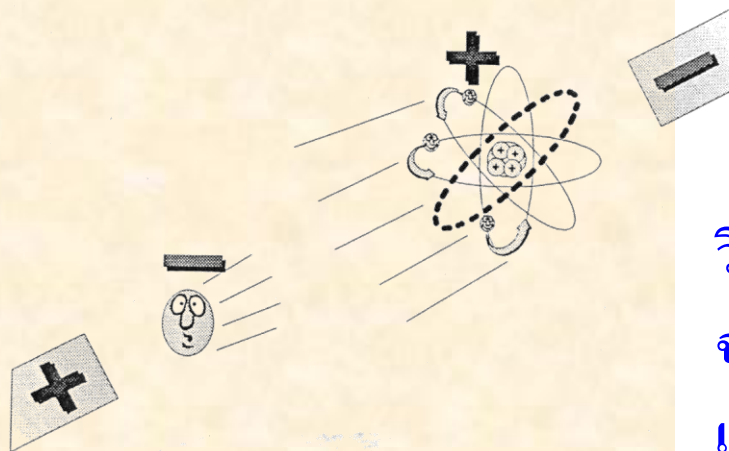
สถานะไอออนไนซ์ (Ionized) เมื่ออะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน จะทำให้เสียสมดุลทางไฟฟ้า คือมีประจุไฟฟ้าบวกมากกว่าประจุไฟฟ้าลบ ซึ่งจะทำให้อะตอมแตกตัวเป็นไอออนบวก



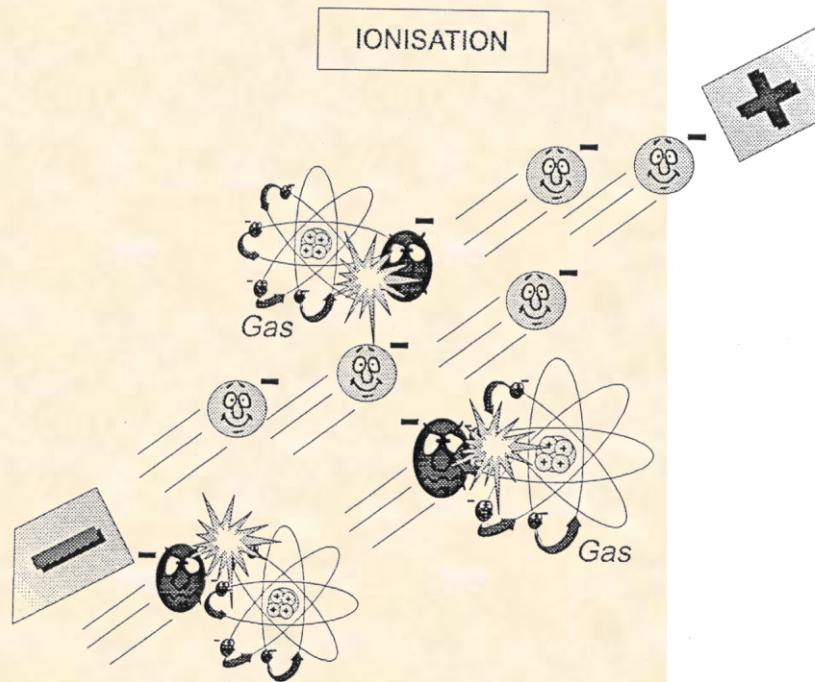
THE ATOME WHICH HAS GOT
A POSITIVE ELECTRICAL CHARGE
TAKES THE NAME "ION"



อะตอมที่แตกตัวเป็นไอออนบวกจะวิ่งเข้าหาขั้วลบส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากวงโคจรจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก ซึ่งในสถานะนี้แก๊สสามารถนำไฟฟ้าได้



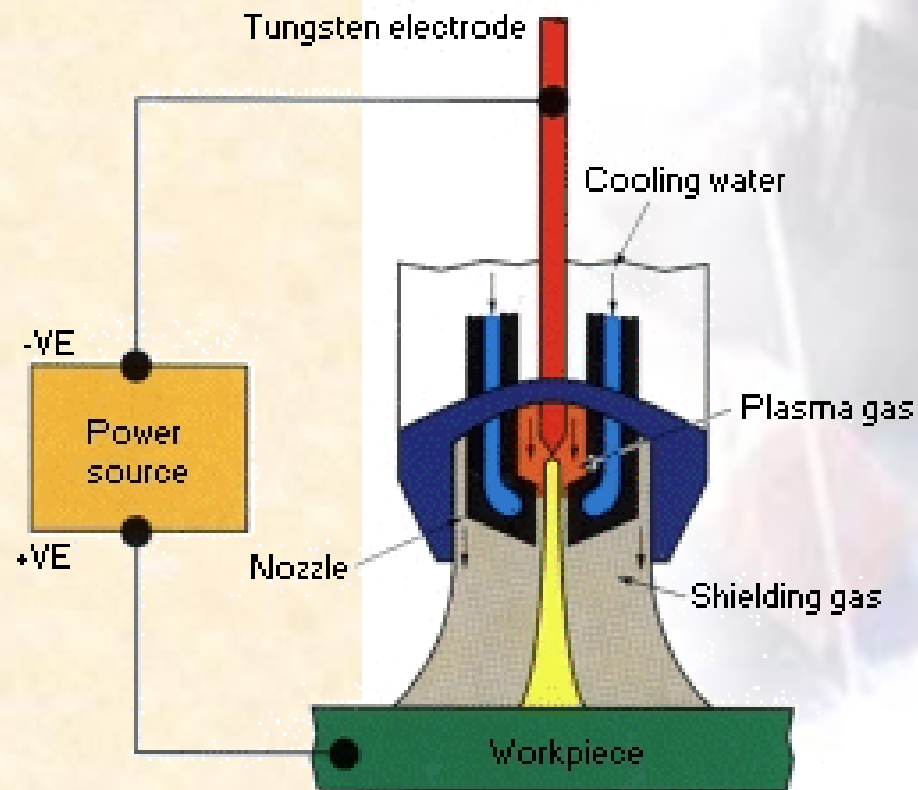
งานเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding, PAW) :



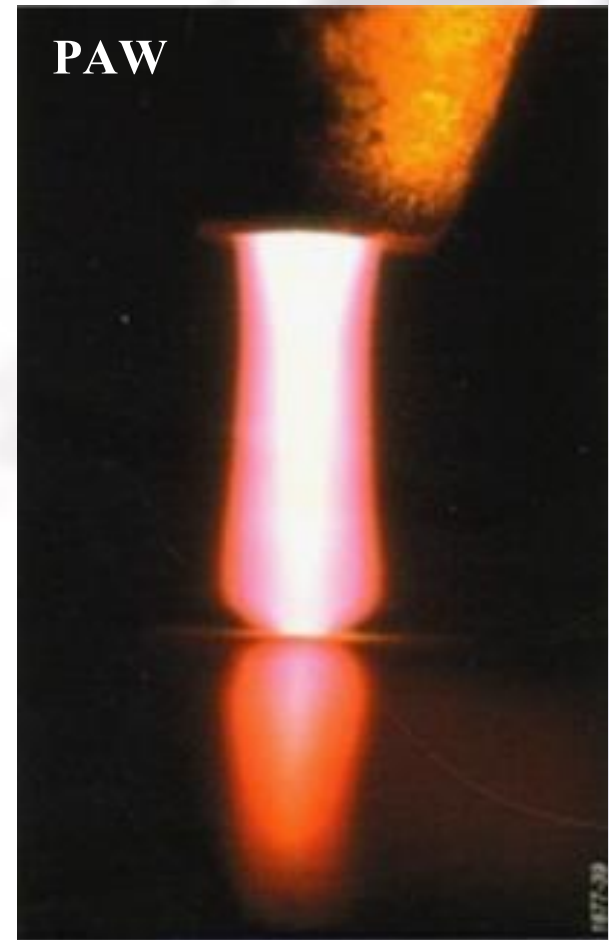
เนื่องจากอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่อยู่เสมอ จึงเกิดการพุ่งชนกันของอิเล็กตรอนกับไอออนบวกของอะตอมอื่นและกลับสู่สถานะสมดุลซึ่งปรากฏการณ์นี้จะคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสี,แสงและความร้อน ซึ่งเราเรียกว่า **“พลาสมา”**

หลักการเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding, PAW) :

การอาร์คเกิดขึ้นระหว่างทั้งส텐อิลเลทโรดกับหัวฉีดยุณหภูมิเดียวกันแกสไหลผ่านคอคอดของหัวฉีดยุณหภูมิทำให้เกิดเปลวอาร์คของพลาสมาขึ้น

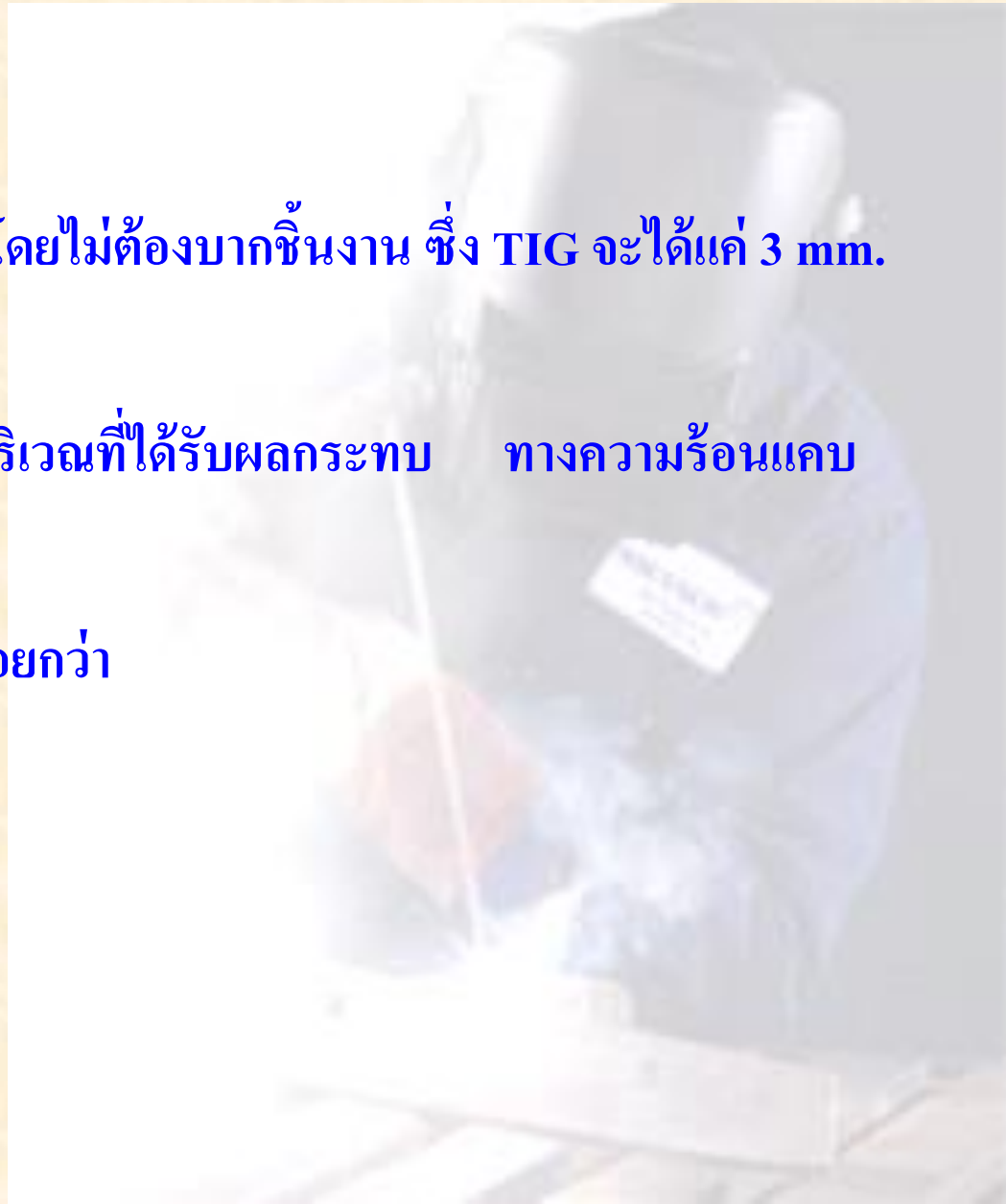


เปรียบเทียบเปลวอาร์คระหว่างการเชื่อม *TIG* & *PAW* :



ข้อเปรียบเทียบระหว่างการเชื่อม PAW & TIG :

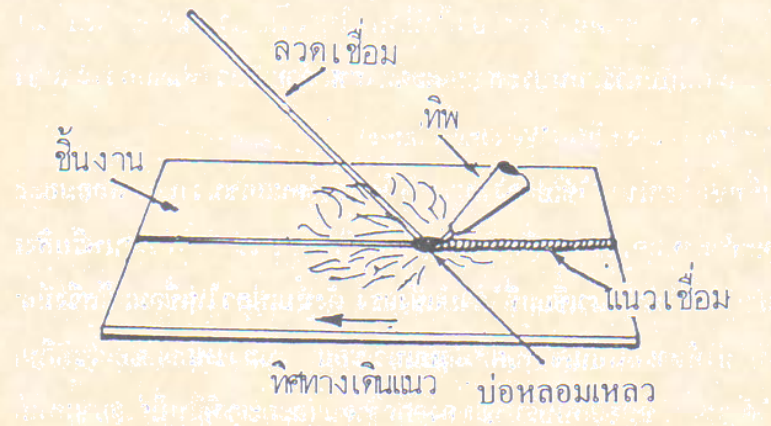
- อุณหภูมิของเปลวอาร์คสูงกว่า
- สามารถเชื่อมงานหนา 6 mm. โดยไม่ต้องบากชิ้นงาน ซึ่ง TIG จะได้แค่ 3 mm.
- การซึมลึกสูง แนวซึมลึกแคบ
- HAZ (Heat affected Zone) บริเวณที่ได้รับผลกระทบ ทางความร้อนแคบ
- ความเร็วในการเชื่อมสูงกว่า
- การบิดงอเสียรูปของชิ้นงานน้อยกว่า



งานเชื่อมใช้ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Welding) :

หลักการเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) :

การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมโลหะแบบหลอมละลาย ซึ่งใช้ความร้อนจากเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงกับออกซิเจนบริสุทธิ์ โดยจะเติมลวดเชื่อมหรือไม่เติมลวดเชื่อมก็ได้ การเชื่อมแก๊สเป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะเครื่องมืออุปกรณ์มีราคาถูกรวมทั้งแก๊สเชื้อเพลิงและออกซิเจนจัดหาได้ง่าย สามารถนำไปใช้ในถิ่นที่ไม่มีไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด

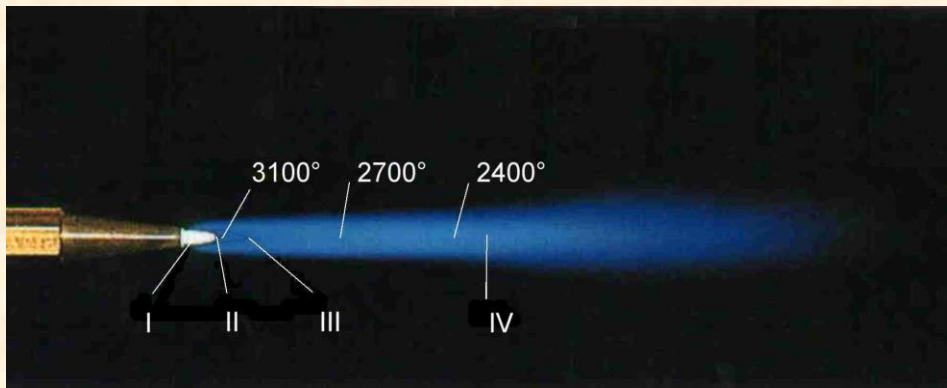


ตารางแสดงสมการเคมีและอุณหภูมิของเปลวไฟชนิดต่าง ๆ

ชนิดเปลวไฟ	สมการเคมีที่เผาไหม้	ค่าความร้อน BTU/FT ³	อุณหภูมิสูงสุด
ออกซีอะเซทิลีน	$\text{C}_2\text{H}_2 + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,433	6,300°F / 3,480°C
ออกซีไฮโดรเจน	$\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$	275	5,400°F / 2,980°C
ออกซีโพรเพน	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \longrightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	2,309	5,300°F / 2,930°C
ออกซีมีเทน	$\text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	913	5,000°F / 2,760°C

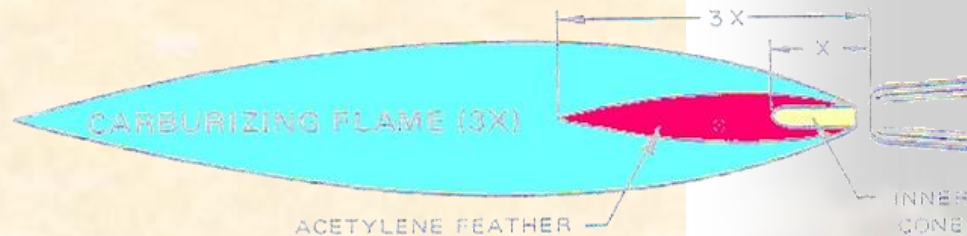
เปลวไฟเชื่อมแก๊สออกซิอะเซทิลีน (Welding Flame) :

การเชื่อมแก๊สนั้นจะใช้เปลวไฟมาเผาให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนหลอมละลายแล้วเย็นติดกันซึ่งในขณะที่โลหะกำลังหลอมละลายนั้นถ้ามีออกซิเจนในโดรเจนหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ เข้าไปรวมตัวกับแนวเชื่อมทำให้แนวเชื่อมที่ได้ไม่แข็งแรง ดังนั้นเปลวไฟเชื่อมแก๊สจึงมีความสำคัญมากซึ่งเปลวไฟออกซิอะเซทิลีนสามารถปรับให้มีลักษณะต่างกันได้ 3 แบบขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและอะเซทิลีนที่จ่ายมาผสมกันที่ด้ามเชื่อม



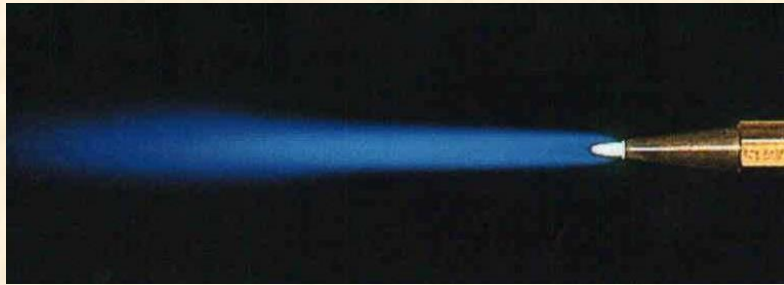
เปลวสด (Carburizing Flame) :

เปลวสด หรือเปลวคาร์บอนมาก (Carburizing Flame) เป็นเปลวไฟที่มีลักษณะเป็นกรวยไฟ 3 ชั้น เปลวไฟนี้ปรับโดยให้ส่วนผสมของอะเซทิลีนมากกว่าออกซิเจนซึ่งค่าความร้อนของเปลวไฟประมาณ $5,700^{\circ}\text{F}$ ($3,150^{\circ}\text{C}$) เปลวสดนี้จะเชื่อมเหล็กหล่อ, อะลูมิเนียมและใช้แล่นประสาน



เปลวกลาง (Neutral Flame) :

เปลวกลาง (Neutral Flame) เป็นเปลวไฟที่มีลักษณะเป็นกรวยไฟ 2 ชั้น การปรับเปลวนี้จะใช้ส่วนผสมของออกซิเจนต่ออะเซทิลีน 1 ต่อ 1 ค่าความร้อนเปลวไฟประมาณ 6,000°F (3,315°C) **เป็นเปลวไฟที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุดกว่าเปลวชนิดอื่น** ใช้ในการเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิดและยังใช้เป็นเปลวไฟอุ่นชิ้นงานในการตัดเหล็กกล้าด้วยเปลวไฟ



สำหรับสมการเคมีของการเผาไหม้ของเปลวกลางเป็นดังนี้



จากสมการจะเห็นได้ว่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะต้องใช้ออกซิเจน 2 ½ ส่วนต่ออะเซทิลีน 1 ส่วน แต่จะปรับแก้มากน้อยมาใช้เพียง 1:1 เท่านั้นส่วนอีกเท่าครึ่งมาจากบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรา

เปลวเพิ่มหรือเปลวออกซิเดชั่น (Oxidizing Flame) :

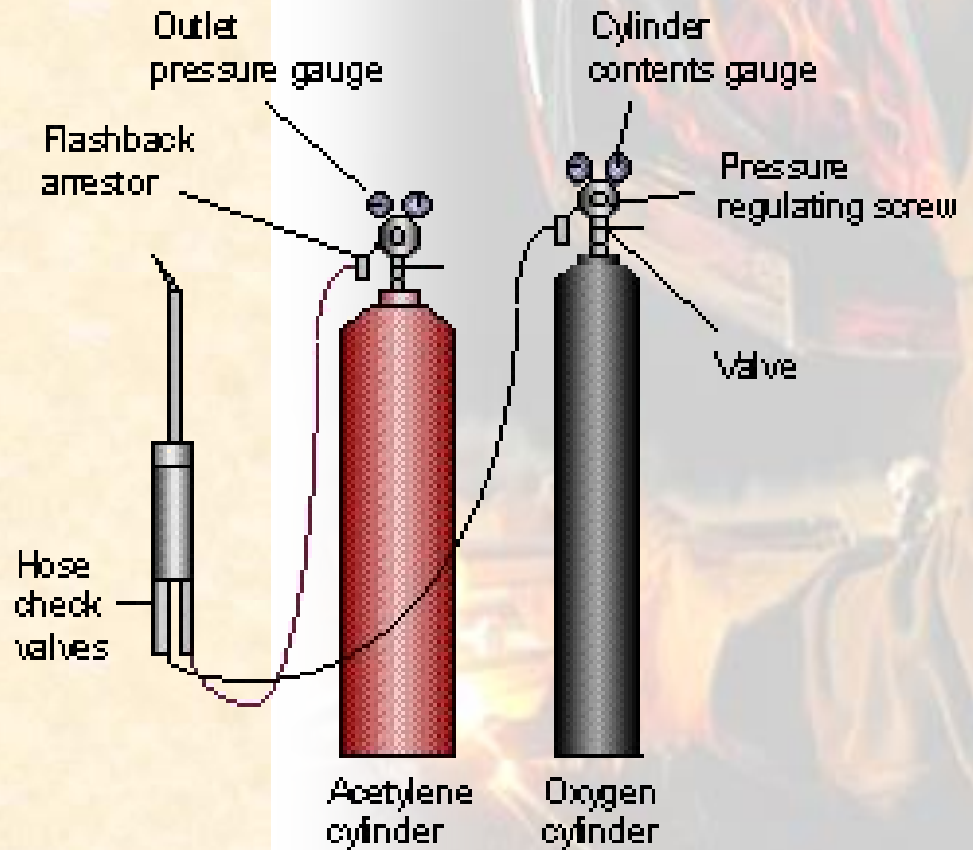
เปลวเพิ่ม หรือเปลวออกซิเจน (Oxidizing Flame) เป็นเปลวไฟที่มีลักษณะเป็นกรวยไฟ 2 ชั้น การปรับเปลวชนิดนี้จะปรับให้ได้เปลวกลางก่อนแล้วเพิ่มออกซิเจนให้มากขึ้น ซึ่งเปลวไฟชนิดนี้จะให้ค่าความร้อนประมาณ $6,300^{\circ}\text{F}$ ($3,480^{\circ}\text{C}$) เป็นเปลวไฟที่มีปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีออกซิเจนเหลืออยู่ในเปลวไฟ ถ้าใช้เชื่อมเหล็กกล้าจะทำให้แนวเชื่อมเปราะ เพราะมีออกซิเจนส่วนที่เหลือผสมลงในแนวเชื่อมสังเกตได้จากบ่อหลอมละลายจะเดือดเป็นฟองเม็ดละเอียดอยู่บนผิวหน้า เปลวเพิ่มมักใช้ในการเชื่อมเหล็กหล่อและการแล่นประสาน



ตารางแสดงชนิดของเปลวไฟออกซิอะเซทิลีนที่ใช้กับงานต่าง ๆ :

โลหะชิ้นงาน	ชนิดของเปลวไฟ	ฟลักซ์	ชนิดลวดเชื่อม
แผ่นเหล็กกล้า	เปลวกลาง	ไม่	เหล็กกล้า
ท่อเหล็กกล้า	เปลวกลาง	ไม่	เหล็กกล้า
เหล็กกล้าคาร์บอน สูง	เปลวลด	ไม่	เหล็กกล้า
เหล็กกล้าแมงกานีส	เปลวเพิ่มอ่อน	ไม่	ส่วนผสมเหมือนชิ้นงาน
เหล็กหล่อสีเทา	เปลวกลาง	ใช่	เหล็กหล่อ
	เปลวเพิ่มอ่อน	ใช่	บรอนซ์
เหล็กหล่อมาเลียเบิล	เปลวเพิ่มอ่อน	ใช่	บรอนซ์
เหล็กกล้าโครเมียม	เปลวกลาง	ใช่	ส่วนผสมเหมือนชิ้นงาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม :



การเชื่อมแบบไม่หลอมละลาย (solid-state Welding)

1) การเชื่อมด้วยการตี (Forge Welding : FW)

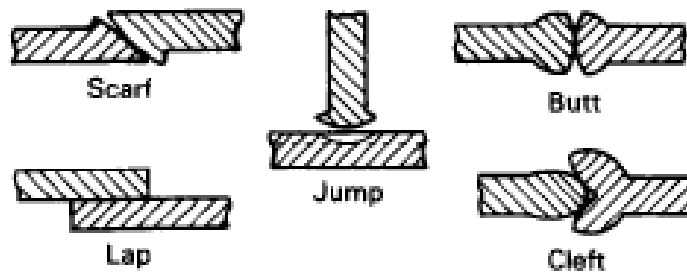


Fig. 1 Typical joint configurations used for manual forge welding applications. Source: Ref 1

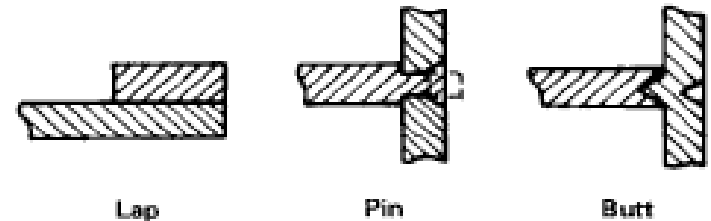
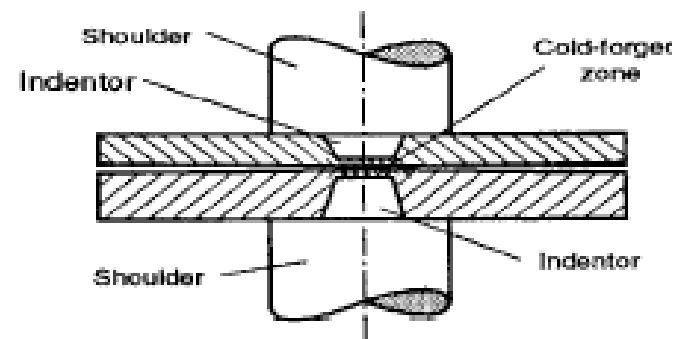
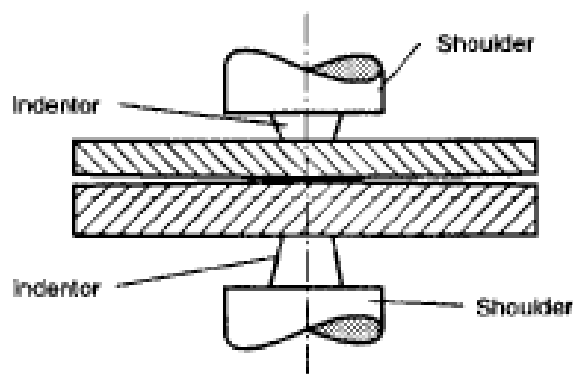
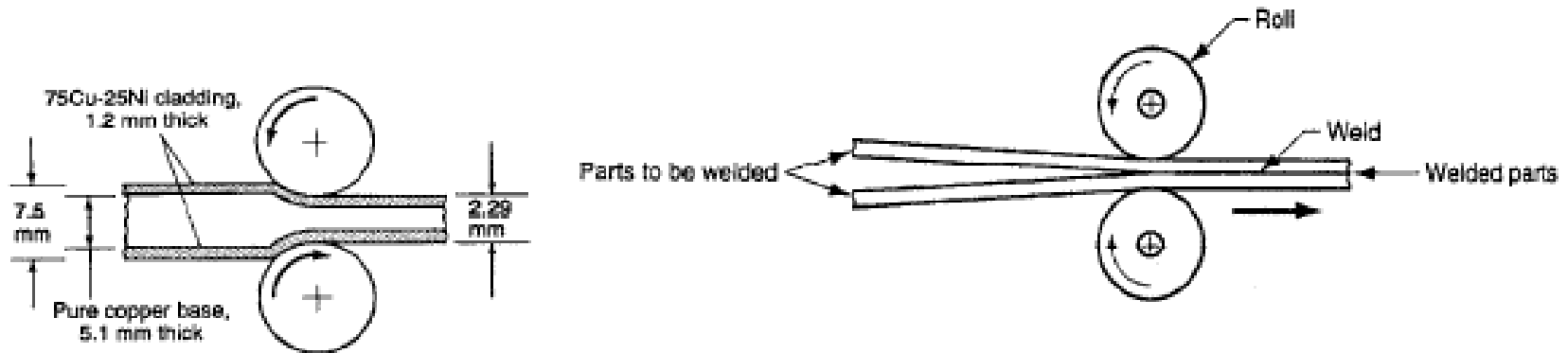


Fig. 2 Recommended joint configurations used in automatic forge welding applications. Source: Ref 1

2) การเชื่อมในสภาวะเย็น (Cold Welding : CW)

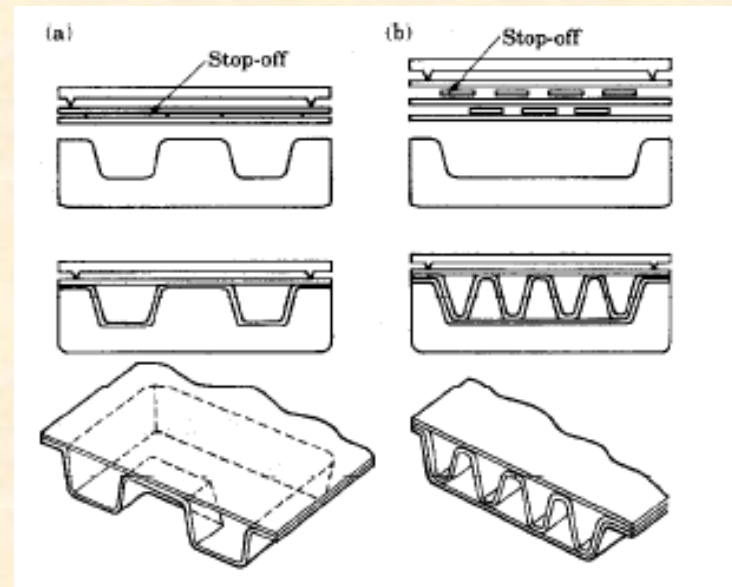


3) การเชื่อมด้วยลูกกลิ้ง (Roll Welding : ROW)

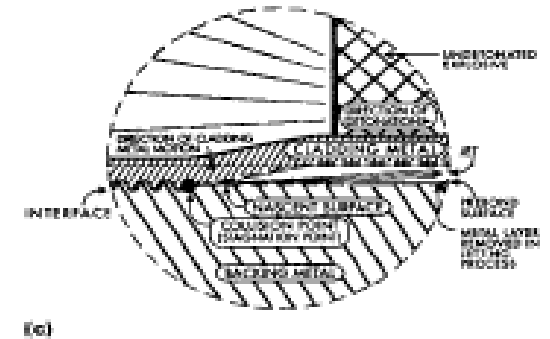
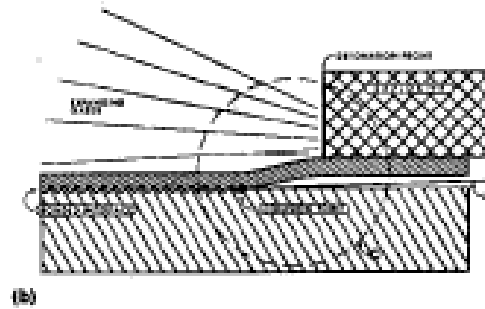
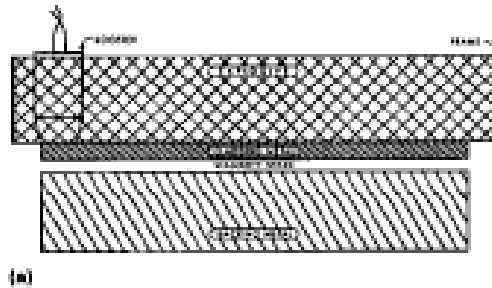


4) การเชื่อมกดด้วยความร้อน (Hot Pressure Welding : HPW)

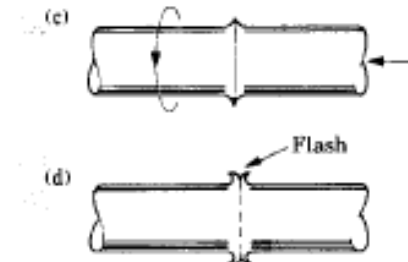
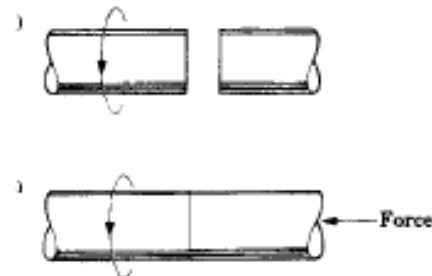
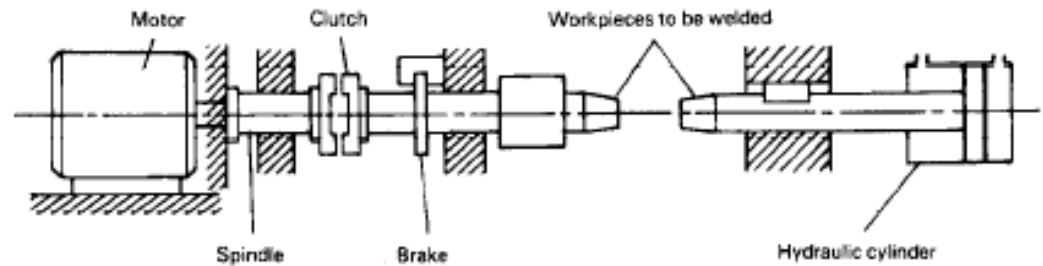
5) การเชื่อมดิฟฟิวชัน (Diffusion Welding : DFW)



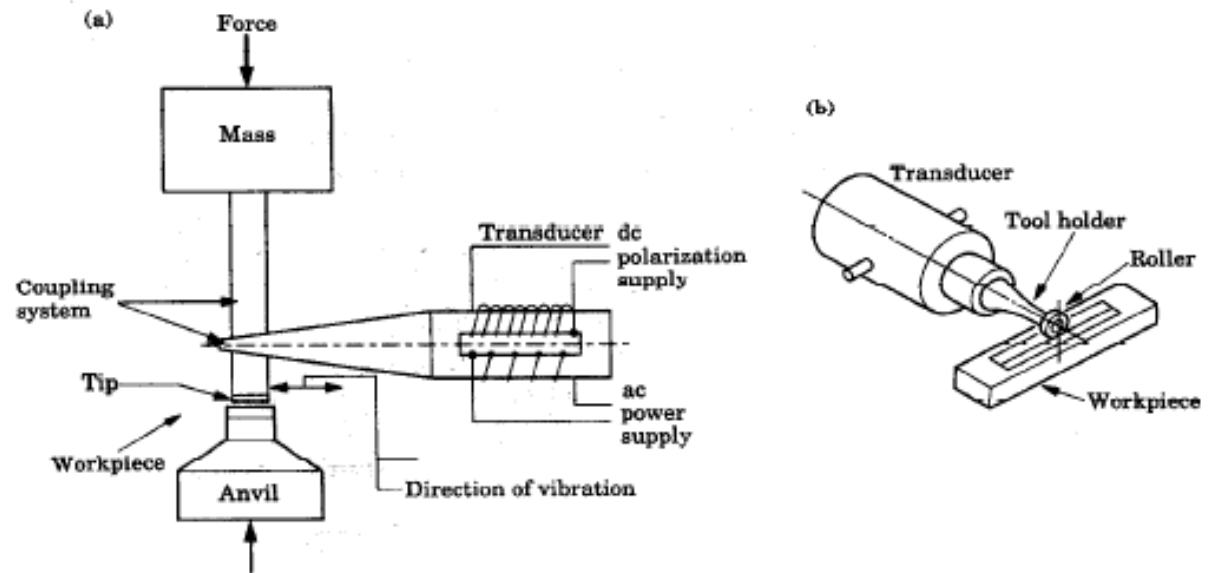
6) การเชื่อมเอกโพชั่น (Explosion Welding : EXW)



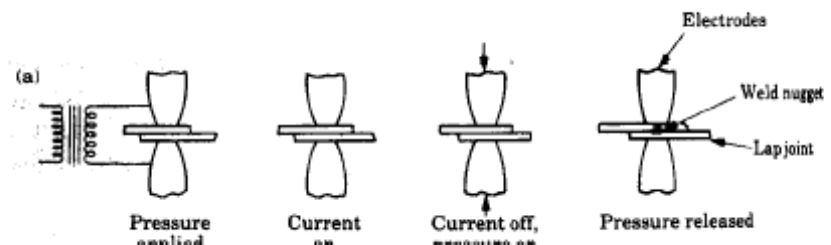
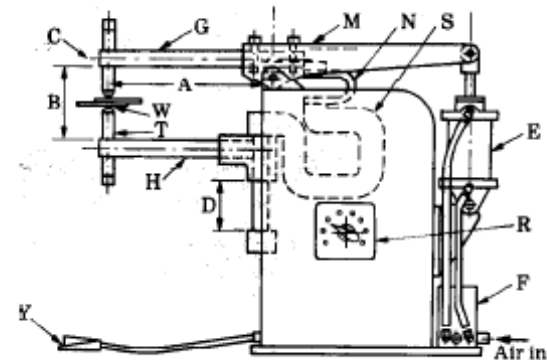
7) การเชื่อมฟริกชั่น (Friction Welding : FRW)



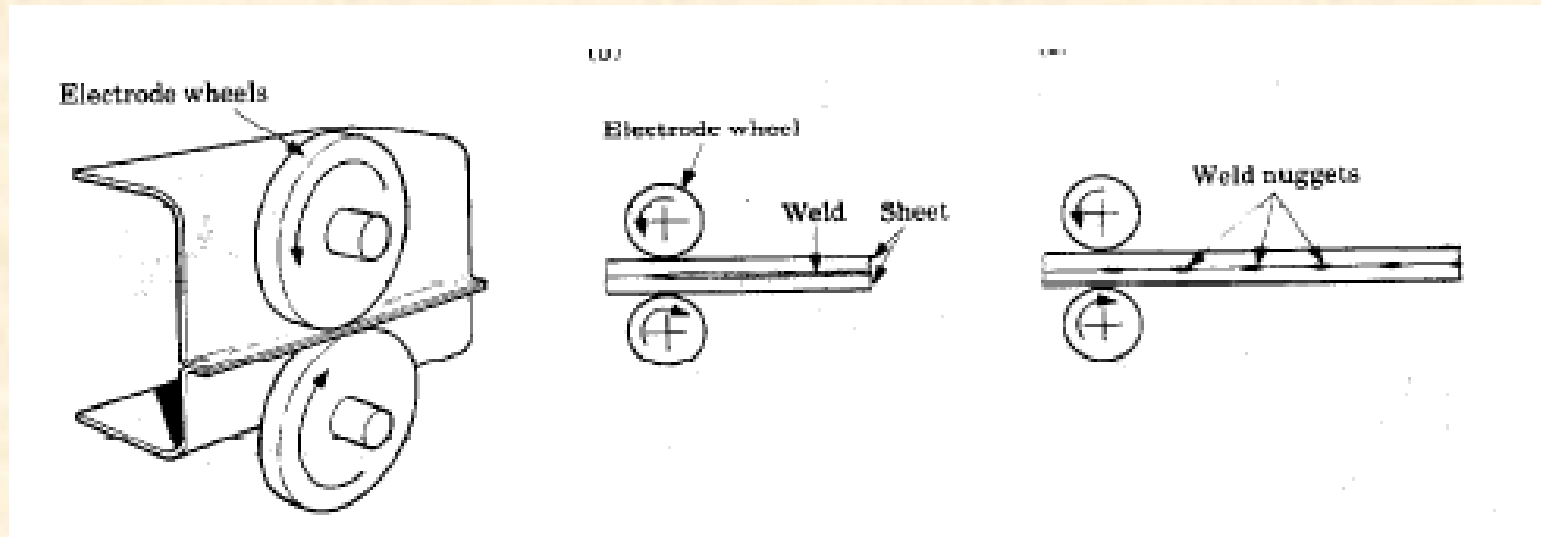
8) การเชื่อมอุลตราโซนิก (Ultrasonic Welding : USW)



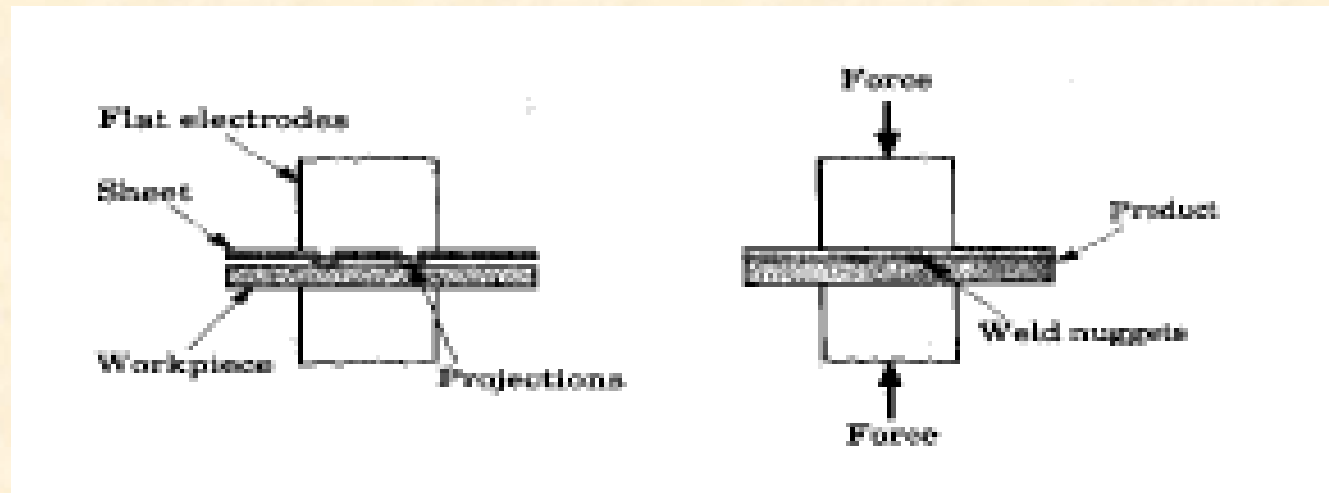
9) การเชื่อมจุด (Resistance Spot Welding : RSW)



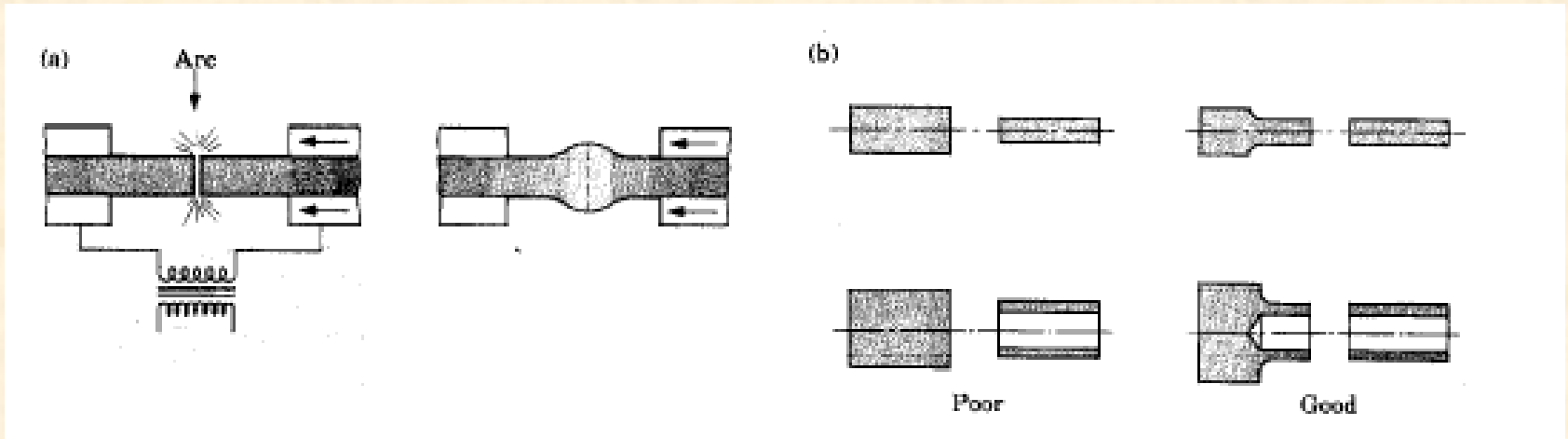
10) การเชื่อมตะเข็บ (Resistance Seam Welding : RSEW)



11) การเชื่อมโปรเจ็กชั่น (Resistance Projection Welding : RPW)

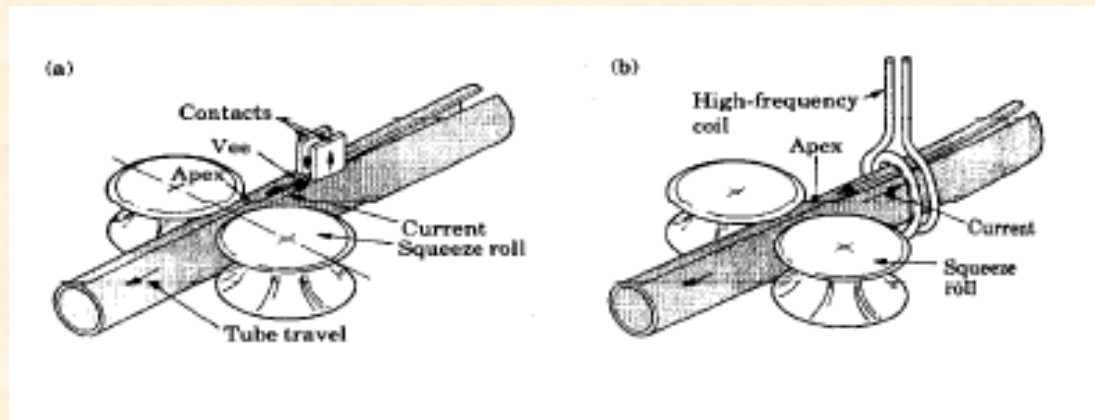


12) การเชื่อมแฟช (Flash Welding : FW)



13) การเชื่อมความต้านทานด้วยความถี่สูง (High-Frequency Resistance Welding : HFRW)

14) การเชื่อมด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง (High-Frequency Induction Welding : HFIW)



1) การบัดกรีอ่อน (Soldering)

ข้อดี

- ก. ใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับการเชื่อม และการบัดกรีแข็ง
- ข. เลือกพลังงานความร้อนได้หลายแบบ
- ค. รอยต่อมีค่าการนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี
- ง. รอยต่อป้องกันแสง และอากาศได้ดี
- จ. แก้ไข และซ่อมแซมรอยต่อได้ง่าย

ตัวประสาน (Solder)

ฟลักซ์ (Fluxes)

ข้อเสีย

- ก. รอยต่อมีความแข็งแรงต่ำ
- ข. รอยต่อจะมีคุณสมบัติต่ำลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2) การบัดกรีแข็ง (Brazing)

ข้อดี

- ก. ต่อโลหะได้หลายชนิดแม้ชิ้นงานจะไม่ใช่โลหะชนิดเดียวกัน
- ข. ทำการเชื่อมได้รวดเร็ว
- ค. วิธีการบัดกรีบางชนิดกระทำอย่างต่อเนื่องได้
- ง. ใช้กับงานที่บาง ๆ ที่ไม่สามารถใช้กระบวนการเชื่อมโดยทั่วไปได้
- จ. ใช้พลังงานความร้อนน้อยกว่ากระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย
- ฉ. ลดปัญหาด้านความร้อนบริเวณแนวต่อกับชิ้นงาน
- ช. จุดต่อที่แคบยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการอื่น ๆ สามารถกระทำได้

ข้อเสีย

- ก. รอยต่อแข็งแรงน้อยกว่าการเชื่อมโดยทั่วไป
- ข. รอยต่อจะแข็งแรงกว่าลวดเชื่อม แต่น้อยกว่าชิ้นงาน
- ค. รอยต่อจะมีคุณสมบัติต่ำลง ถ้างานในที่ใช้อุณหภูมิสูง
- ง. สีของรอยต่อจะไม่เหมือนกับสีของชิ้นงาน

การต่อโดยใช้ตัวประสาน (Adhesive Bonding)

- 1) **Anaerobic** เป็นเทอร์โมเซตติง มีอะคลิลิกเป็นตัวยึดหลัก ทำการยึดที่อุณหภูมิห้องทนแรงเฉือนได้ 20 MPa และทนต่อแรงดึงได้ 40 MPa ใช้ยึดงานหรือโครงสร้าง
- 2) **Modified Acrylics** เป็นสารประกอบด้วย เรซิน และตัวทำให้แข็ง (Hardener) ทำการยึดที่อุณหภูมิห้อง ภายหลังการผสมกันแล้ว ทนแรงเฉือนได้ 34 MPa และทนต่อแรงดึงได้ 25 Mpa เช่น ไฟเบอร์กลาส ใช้ยึดวัสดุชิ้นงานในรถยนต์และเครื่องบิน
- 3) **Cyanoacrylate** อะคลิลิกเป็นตัวยึดหลัก ทำการยึดที่อุณหภูมิห้องแต่ชิ้นงานต้องมีผิวเป็นด่าง ทนต่อแรงดึงได้ 17 Mpa ใช้ยึดยาง โลหะ และพลาสติกได้ดี
- 4) **Epoxy** เป็นตัวยึดที่มีความหลากหลายมากมายหลายชนิด บางชนิดต้องใช้ความร้อนช่วยทนแรงเฉือนได้ 40Mpa และทนแรงดึงได้ 50 Mpa ใช้ยึดอะลูมิเนียมรังผึ้งในเครื่องบิน และงานทั่วไป

การต่อโดยใช้ตัวประสาน (**Adhesive Bonding**)

5) **Hot Melt** เป็นสารประกอบเดี่ยวยวาทะเทอร์โมพลาสติก ก่อนใช้งานต้องให้ความร้อนจนหลอมเหลว เมื่อเย็นลงก็นำไปใช้งานได้ ทนแรงเฉือนได้ 7 Mpa และทนต่อแรงดึงได้ 9 Mpa ส่วนมากใช้กับงานบรรจุภัณฑ์ เฟอ์นิเจอร์ รองเท้า พรหม และการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในรถยนต์

6) **Pressure-Sensitive Tape and Films** เป็นตัวยึดที่มีองค์ประกอบเดี่ยวในรูปของแข็ง ของโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล และมีแรงยึดสูง ทนแรงเฉือนได้ 49 Mpa และทนต่อแรงดึงได้ 40 Mpa ใช้ยึดได้ทั้ง พลาสติก ไม้ และโลหะ

7) **Silicone** เป็นสารประกอบเดี่ยว หรือคู่ประเภทเทอร์โมเซตติงเหลว ทนแรงเฉือนได้ 3 Mpa และทนต่อแรงดึงได้ 5 Mpa ใช้ยึดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และพลาสติก

8) **Urethane** เป็นสารประกอบเดี่ยว หรือคู่ประเภทเทอร์โมเซตติง ทนแรงเฉือนได้ 19 Mpa และทนต่อแรงดึง ได้ 50 Mpa ใช้ยึดไฟเบอร์กลาส และพลาสติก

การต่อยึดทางกล (Mechanical Fastening)

1) สกรู (Screw) และสลักเกลียว (Bolt)

2) ตัวปสกรู (Tapping Screw)

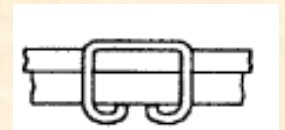
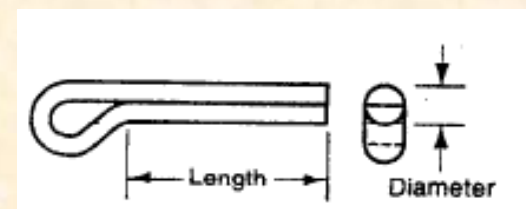
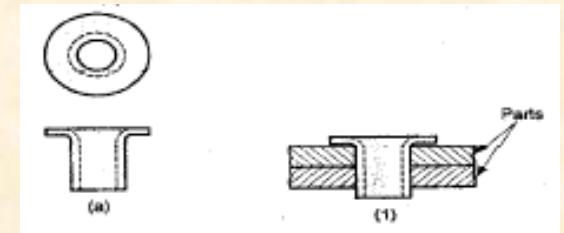
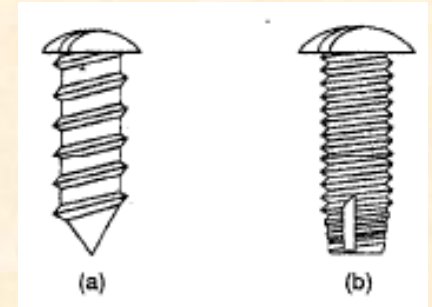
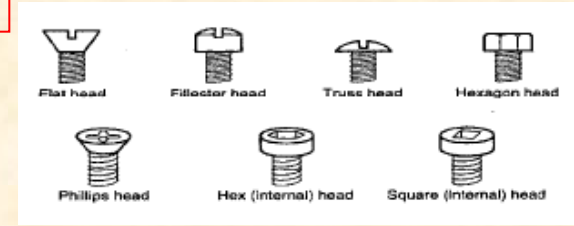
3) หมุดย้ำ (Rivets)

หมุดย้ำมีอยู่ 5 ชนิด ดังเช่น (a) Solid, (b) Tubular , (c) Semitubular , (d) Bifurcated และ (e) Compression

4) อายเล็ด (Eyelets)

5) การยึดด้วยลวด (Wire Stitching)

6) คอตเตอร์พิน (Cotter Pins)



เอกสารอ้างอิง

1. ชลิตต์ มธุรสมนตรี ปราโมทย์ พูนนายม กุลชาติ จุลเพ็ญ, กระบวนการผลิต (Manufacturing Processes) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, กรุงเทพฯ, 2544
2. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials – วัสดุวิศวกรรม และ foundry sands, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. อนุวัฒน์ จุติลาภถาวร, กรรมวิธีการผลิต2, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ ,2548
4. SCHULER, Metal Forming Handbook, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998
5. Repp McCarthy, Metalwork Technology and Practice, New York, 1989
6. Matthew Yuen, Extrusion , Research. May 15, 2009 from <http://faculty.ksu.edu.sa/maesaleh/IE%20351/Ch6-Extrusion.ppt>
7. ทวี เทศเจริญ, กรรมวิธีการผลิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2536.
8. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2008 from <http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/engmat.html>
9. ปัญญา บัวสมบุรา และอุษณีย์ กิตกำธร, Physical Metallurgy Lab I, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2012 from <http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/phymet1.html>