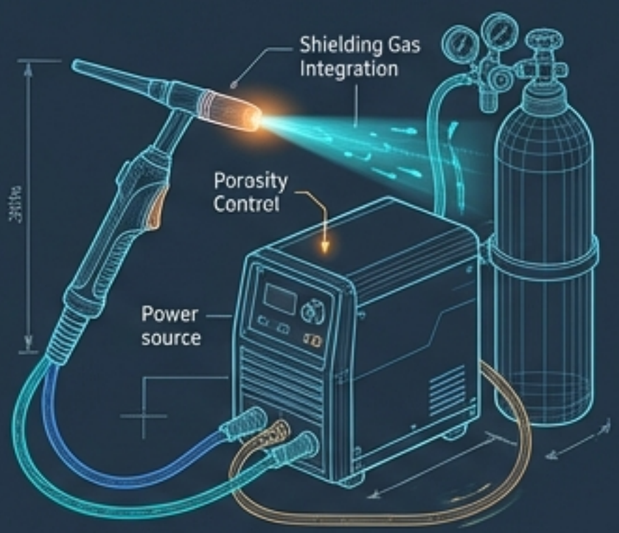
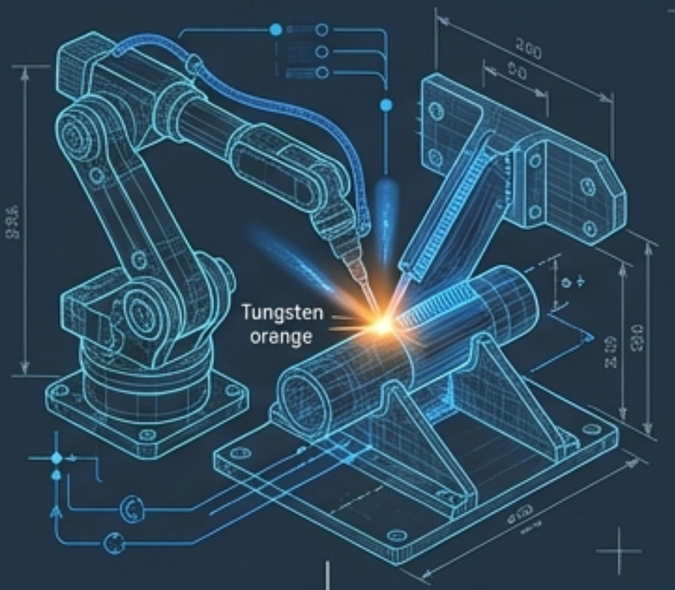
กายวิภาคของความแม่นยำ: บทวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมเชิงลึกของกระบวนการเชื่อม GTAW/TIG

GTAW/TIG

คู่มืออ้างอิงและเจาะลึกวิทยาศาสตร์การหลอมละลายระดับไมโคร

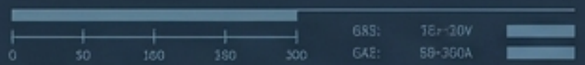
NotebookLM





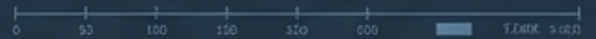
Evolution of the Arc

ต้นทศวรรษที่ 19: จุดเริ่มต้นของการค้นพบกระแสลนอาร์กไฟฟ้า



Discovery of Electric Arc Phenomenon.
Early experimental applications.
[V: ~40-60V DC, I: 100-300A, GAS: None/Air].

ทศวรรษ 1940s (Heliarc): พัฒนากระบวนการใช้ก๊าซฮีเลียมคลุมเพื่อแก้ปัญหาฟองอากาศ (Porosity) ในการเชื่อมอลูมิเนียมและแมกนีเซียม



Development of Heliarc Process.
Helium (He) Shielding Gas Integration for Aluminum & Magnesium.
[V: 15-25V AC/DC, I: 150-500A. FLOW: 10-20 L/min He, POROSITY: <1%].

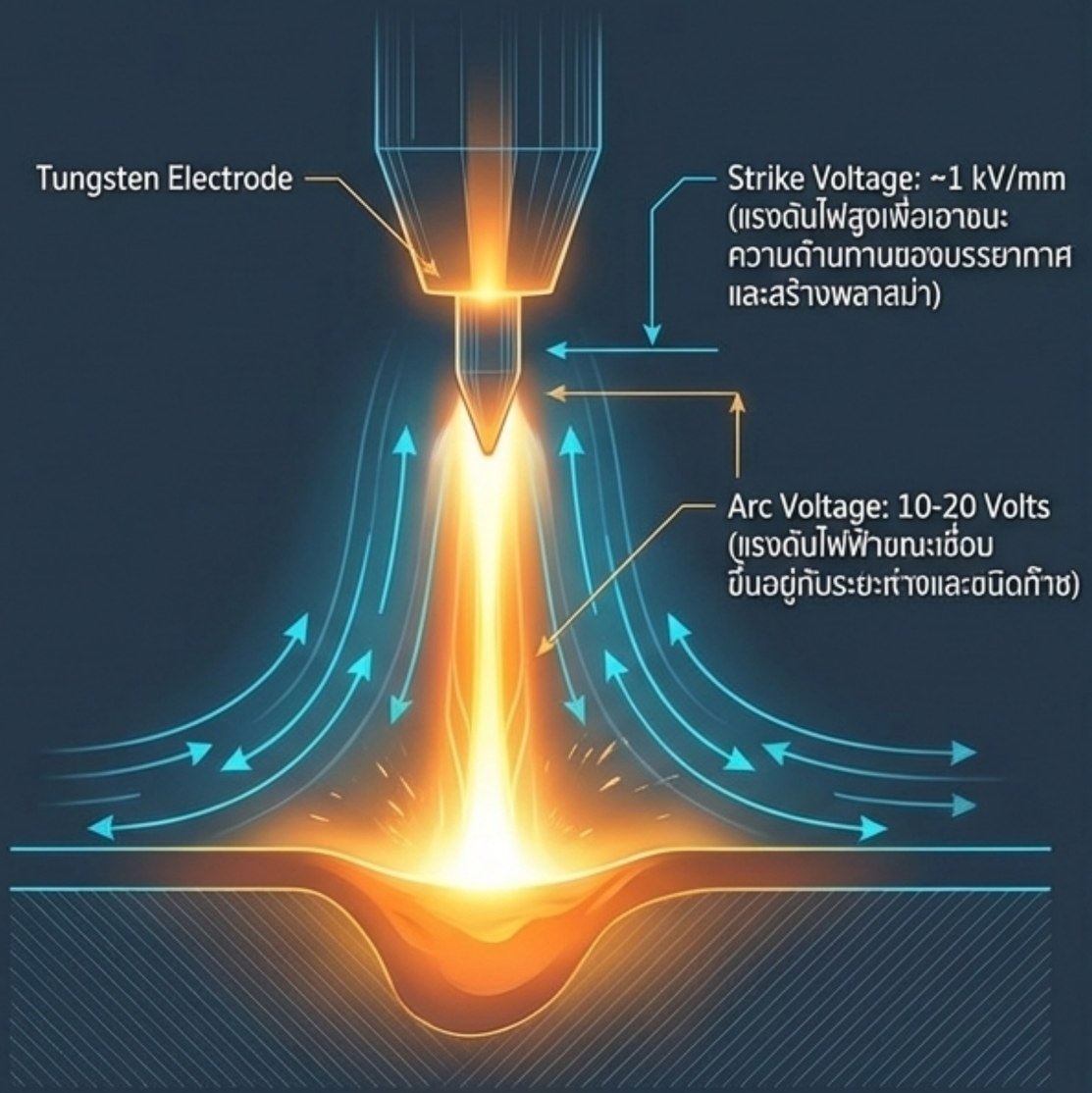
ยุคปัจจุบัน (Aerospace & Nuclear): เปลี่ยนผ่านสู่ก๊าซอาร์กอน (Argon) กลายเป็นมาตรฐานทองคำสำหรับการผลิตชิ้นส่วนน้ำหนักเบาที่ต้องการความสมบูรณ์แบบเชิงโครงสร้างแบบไร้ข้อบกพร่อง (Zero-defect)

Transition to Argon (Ar) Standard.
Zero-Defect Structural Integrity for Aerospace & Nuclear Components.
[V: 10-20V DCEN, I: 50-350A, FLOW: 8-15 L/min Ar, PURITY: 99.999%, DEFECTS: 0 PPM].

GTAW ไม่ใช่แค่เครื่องมือ แต่เป็น กระบวนทัศน์ (Paradigm) ของการประกอบชิ้นส่วนวิศวกรรมที่ต้องการความแม่นยำระดับไมโคร
[PRECISION MICRO-ASSEMBLY PARADIGM]

NotebookLM

PLASMA COLUMN DETAIL & ARC PARAMETERS



POWER SUPPLY & THERMAL DATA PANEL

ENGINEERING LAB

ระบบไฟ Constant Current (CC)

แหล่งจ่ายไฟรักษา 'กระแสไฟคงที่' แม้ระยะห่างของอาร์กจะเปลี่ยนไป
ป้องกันความร้อนผันผวนและการทะลุของชิ้นงาน
(ต่างจากรบับ CV ของการเชื่อม MIG)

GR:	V=1kV	E=160V	H	:	I x I 5 x 10
CC:	3.5	6.50		:	10 x S 3 x 10

สมการพลังงานความร้อนสุทธิ (Heat Input Formula)

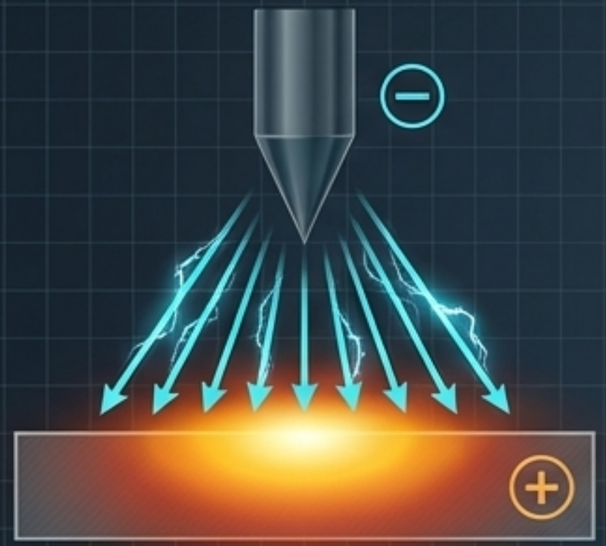
$$H = \frac{V \times I \times 60}{S}$$

(H = ความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน, V = แรงดันไฟฟ้า,
I = กระแสไฟฟ้า, S = ความเร็วในการเดินแนว)

NotebookLM

ELECTRICAL POLARITY ENGINE MATRIX

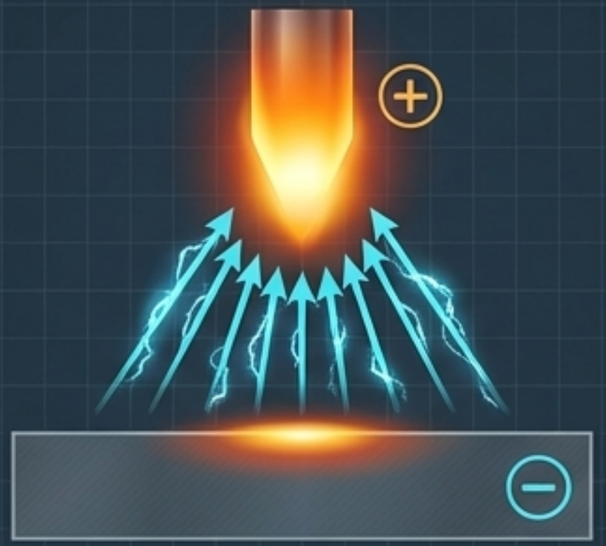
DCEN
(DIRECT CURRENT ELECTRODE NEGATIVE)



การกระจายความร้อน: 70% ที่ชิ้นงาน / 30% ที่ทังสเตน

คุณสมบัติ: ให้การซึมลึกดีที่สุด นิยมใช้กับเหล็กสแตนเลส ทองแดง ไทเทเนียม

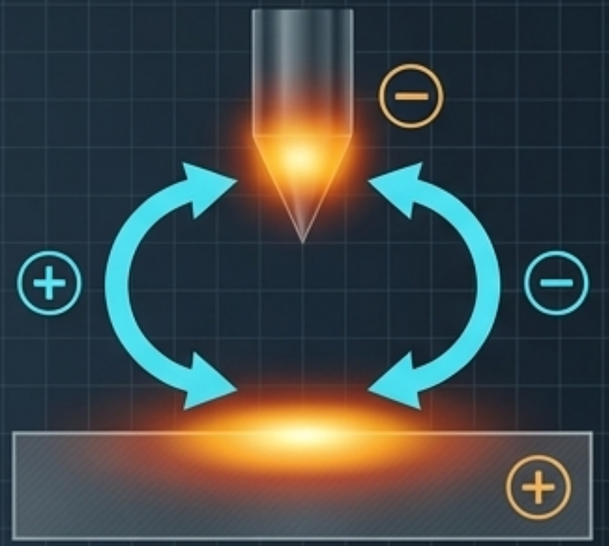
DCEP
(DIRECT CURRENT ELECTRODE POSITIVE)



การกระจายความร้อน: 30% ที่ชิ้นงาน / 70% ที่ทังสเตน

คุณสมบัติ: ซึมลึกน้อย ขจัดออกไซด์ที่ผิวงานได้ดี (Cleaning Action) แต่ทังสเตนร้อนจัดและละลายง่าย

AC
(ALTERNATING CURRENT)

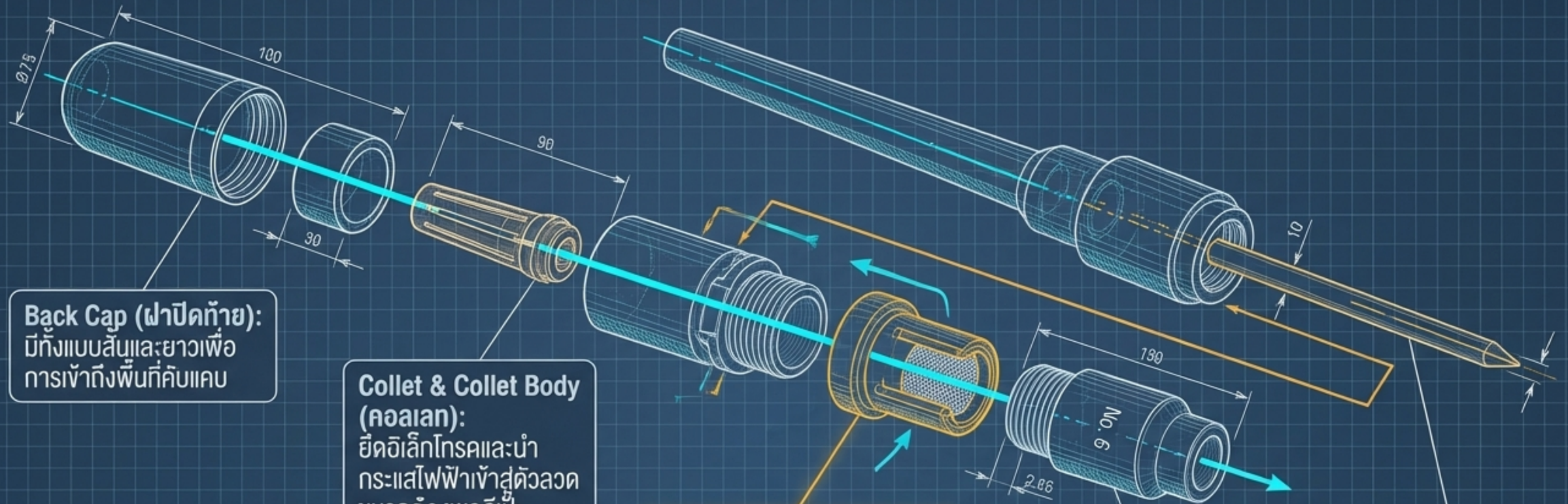


การกระจายความร้อน: กระจายตัวสม่ำเสมอ (50/50 ปรับได้ด้วย AC Balance)

คุณสมบัติ: รวมข้อดีของการซึมลึกและขจัดออกไซด์ เหมาะสำหรับอลูมิเนียมและแมกนีเซียม

NotebookLM

TIG TORCH ASSEMBLY: EXPLODED BLUEPRINT & SPECIFICATIONS



Back Cap (ฝาปิดท้าย):
มีทั้งแบบสั้นและยาวเพื่อการเข้าถึงพื้นที่คับแคบ

Collet & Collet Body (คอลเลท):
ยึดอิเล็กโทรดและนำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ตัวลวด ขนาดต้องพอดีเป๊ะเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

Gas Lens (แก๊สเลนส์):
อุปกรณ์เสริมสำคัญ เปลี่ยนการไหลของก๊าซจากปั่นป่วน (Turbulent) เป็นราบเรียบ (Laminar) ยื่นทังสเตนได้ไกลขึ้น

Ceramic Nozzle/Cup (ถ้วยเซรามิก):
กำหนดทิศทางก๊าซ ขนาดกำหนดเป็นตัวเลข (เช่น เบอร์ 6 = 6/16 นิ้ว)

Tungsten Electrode (ลวดทังสเตน):
จุดศูนย์รวมพลังงาน

ระบบการเริ่มอาร์กใช้วงจร High Frequency (HF) ข้ามระยะ 1.5–3 มม. หรือ Lift-Arc เพื่อป้องกันทังสเตนปนเปื้อนจากการแตะชิ้นงาน (Touch Start)

NotebookLM

TUNGSTEN ELECTRODE: METALLURGY PALETTE & POINT GEOMETRY (AWS A5.12)

TUNGSTEN METALLURGY PALETTE (AWS A5.12)

Pure (WP):
ทังสเตน >99.5%
AC อลูมิเนียม
ไม่ทนความร้อนสูง

2% Thoriated (EWTh-2):
ทนความร้อนสูง
DC อาร์กนิ่งสุด
คำเตือน: มีกัมมันตภาพรังสี

2% Ceriated (EWCe-2):
เริ่มอาร์กง่ายที่กระแสต่ำ
ปลอดภัย ทดแทนสีแดง

1.5-2% Lanthanated:
อเนกประสงค์ AC/DC
ปลายแหลมทนทาน

Zirconiated (EWZr-1):
ต้านทานการปนเปื้อน
รักษาทรงกลมในงาน AC

Rare Earth Mix (EWG):
ประสิทธิภาพสูงสุด
ทุกระบบไฟฟ้า

POINT GEOMETRY & PREPARATION

ปลายแหลม (Pointed): งาน DC
เจียระไนขนานตัวลวด (Longitudinal) เพื่อให้อาร์กไม่สาย

ปลายตัดเรียบ (Truncated): งาน DC กระแสสูง
ตัดยอดออกให้มีพื้นที่ราบ 0.01-0.03 นิ้ว กันปลายละลาย

ปลายทลม (Balled):
งาน AC ทรงตั้งเดิมเพื่อกระจายความร้อน

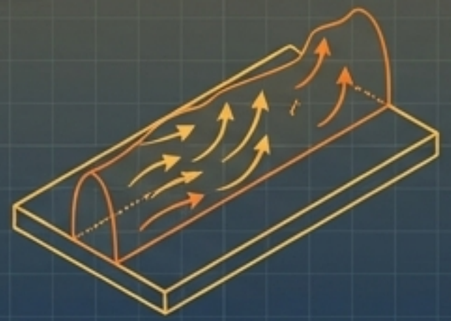
NotebookLM

Argon (Ar)

แก๊สพื้นฐานยอดนิยม
หนักกว่าอากาศ อาร์กนิ่งและติดง่าย
ปกคลุมแนวเชื่อมแนวราบได้ดีเยี่ยม

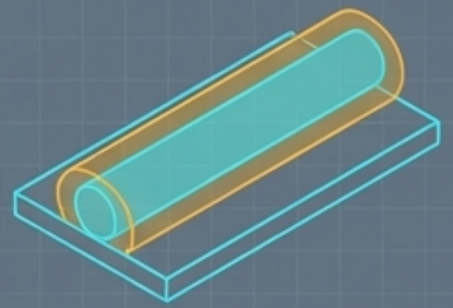
Helium (He)

นำความร้อนสูงมาก
ได้บ่อหลอมพลังงานสูง
(สำหรับอลูมิเนียมหนา/ทองแดง)
น้ำหนักเบา
ต้องใช้อัตราไหลมากกว่าอาร์กอน
2-3 เท่า



Mixes (Ar/He & Ar/H2)

ผสม Ar/He (25-75% He)
เพื่อสมดุลความนิ่งและความร้อน /
ผสม Ar/H2 ใช้เฉพาะสแตนเลสเตนิติก
เพิ่มความเร็วและทำให้ผิวเงางาม
ห้ามใช้กับเหล็กคาร์บอนเด็ดขาด



อัตราการไหลของก๊าซ (CFH - Cubic Feet per Hour)

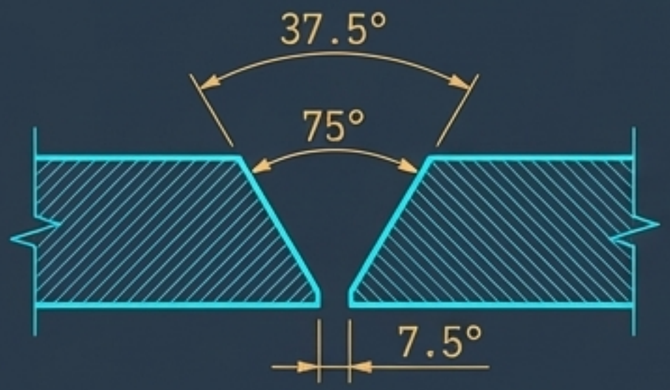
หัวเชื่อมปกติ (Torch): 15 - 30 CFH

ปกป้องรากเชื่อมด้านหลัง (Back-purging): 5 - 10 CFH (จำเป็นมากสำหรับท่อสแตนเลส)

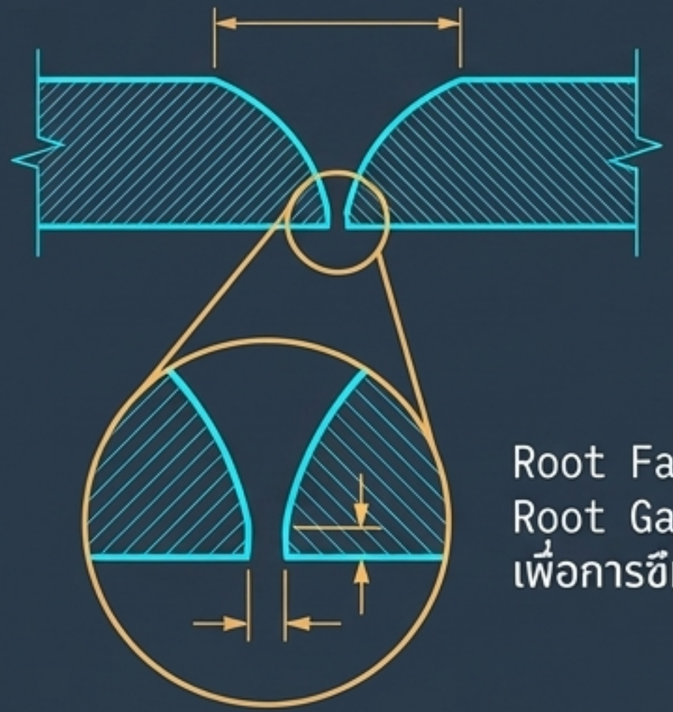
การเชื่อมปากเปิด (Open Butt): Torch 10 CFH / Purge 40 CFH

NotebookLM

BEVEL ARCHITECTURE & JOINT PREP



V-Bevel:
มุมบากมาตรฐาน 37.5°
(มุมรวม 75°)
นิยมสำหรับงานเชื่อมมือ



J-Prep:
นิยมสำหรับลวดลเชื่อมไม้ติ
(Orbital TIG)
ลดลวดเติมได้ 30-50%

Root Face 1.5-2 มม. และ
Root Gap 1.5-3.2 มม.
เพื่อการซึมลึกด้านหลัง 100%

กระบวนการ TIG ไม่อภัยให้กับความสกปรก

Step 1: ขจัดคราบมัน (Degrease)

ใช้อะซิโตน (Acetone)
หรือสารทำละลายที่ไม่ทิ้งคราบ

↓

Step 2: ขจัดออกไซด์ (De-oxide)

ใช้แปรงลวดสแตนเลสที่
ใหม่และเฉพาะเจาะจง
ขัดออกไซด์ก่อนเชื่อมทันที
(โดยเฉพาะอลูมิเนียม Al203)

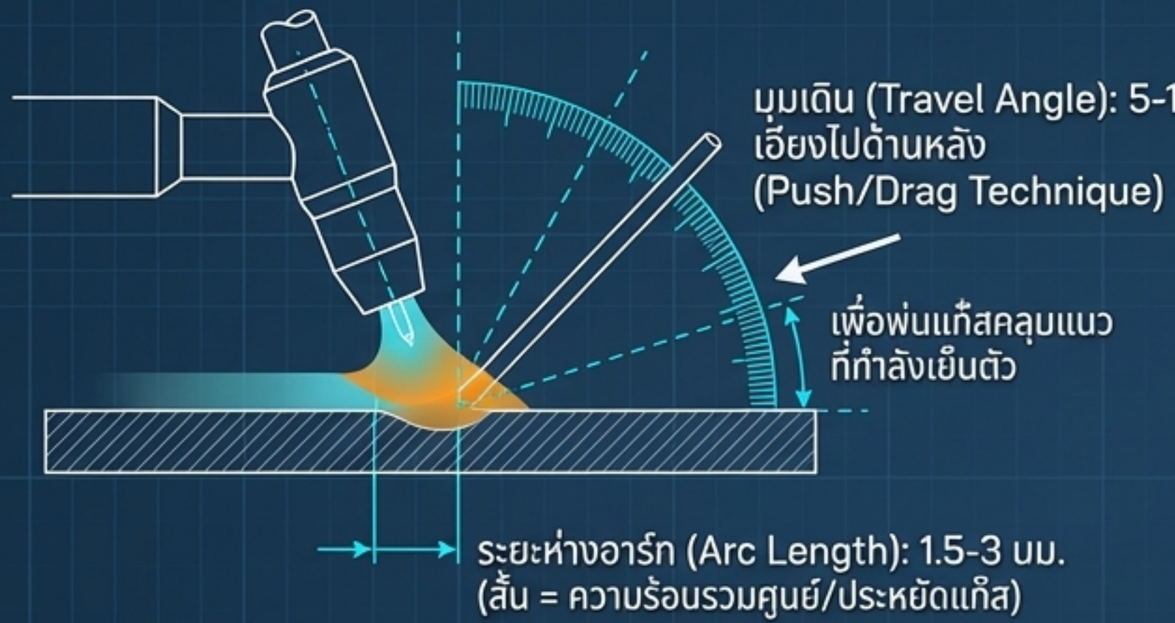
↓

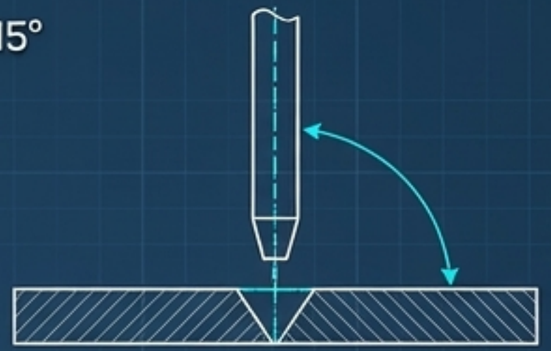
Step 3: ลบคม (Deburr)

ใช้เครื่องเจียรลบคมขอบรอยต่อ
ป้องกันการสะสมสิ่งสกปรก

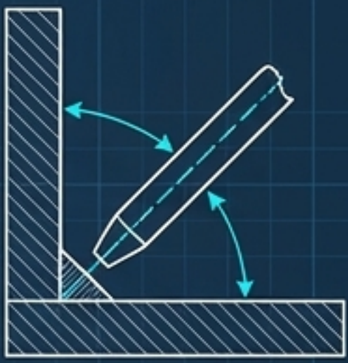
NotebookLM

TIG WELDING TECHNIQUES: ANGLES & MANIPULATION





รอยเชื่อมชน
(Butt Joint) = 90°



รอยเชื่อมฟิลเล็ต
(Fillet) = 45°

CRITICAL OPERATIONAL RULES

Filler Synchronization: การป้อนลวดเชื่อมต้องเป็นจังหวะ และ **ห้าม**ลวดสัมผัสทังสเตนเด็ดขาด เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

Walking the Cup (เทคนิคเดินบนปากถ้วย): สำหรับท่อ 5G/6G ใช้ขอบถ้วยเซรามิคพิงรอยบากและส่ายหัวเชื่อมต่อเนื่องเพื่อความนิ่งระดับอุตสาหกรรม

NotebookLM

วัสดุโลหะและการจัดการเฉพาะทาง (MATERIAL SPECIFIC CHALLENGES & SOLUTIONS)

อลูมิเนียมและแมกนีเซียม (Aluminum/Mg)

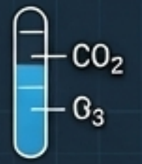
Challenge: ชั้นออกไซด์จุดหลอมเหลวสูงกว่าตัวโลหะ 3 เท่า

Solution: ใช้กระแสสลับ (AC) จังหวะ DCEP ทำความสะอาดออกไซด์ / จังหวะ DCEN สร้างบ่อหลอม (ลวดเติม 4043 หรือ 5356)

เหล็กกล้าไร้สนิมและนิกเกิล (Stainless/Nickel Alloys)

Challenge: นำความร้อนต่ำ ขยายตัวสูง เสี่ยงบิดงอและเกิด Sugaring (ออกซิเดชั่นด้านหลัง)

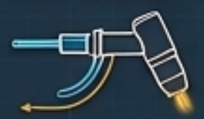
Solution: ควบคุมสีแนวเชื่อม (สีทองอ่อน/เงิน = ดี, สีเทาเข้ม/ดำ = ร้อนไป/แก๊สไม่พอ) สแตนเลส Duplex ต้องใช้แก๊สผสมไนโตรเจน

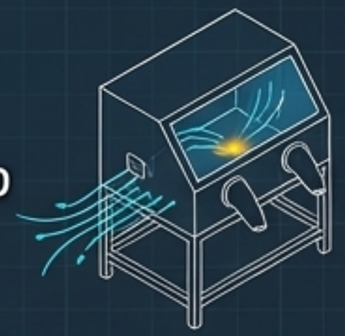


โลหะที่มีปฏิกิริยาสูง (Reactive: Titanium/Zirconium)

Challenge: ไวต่อการดูดซึมแก๊สในอากาศสูงมากแม้เพียงเล็กน้อย

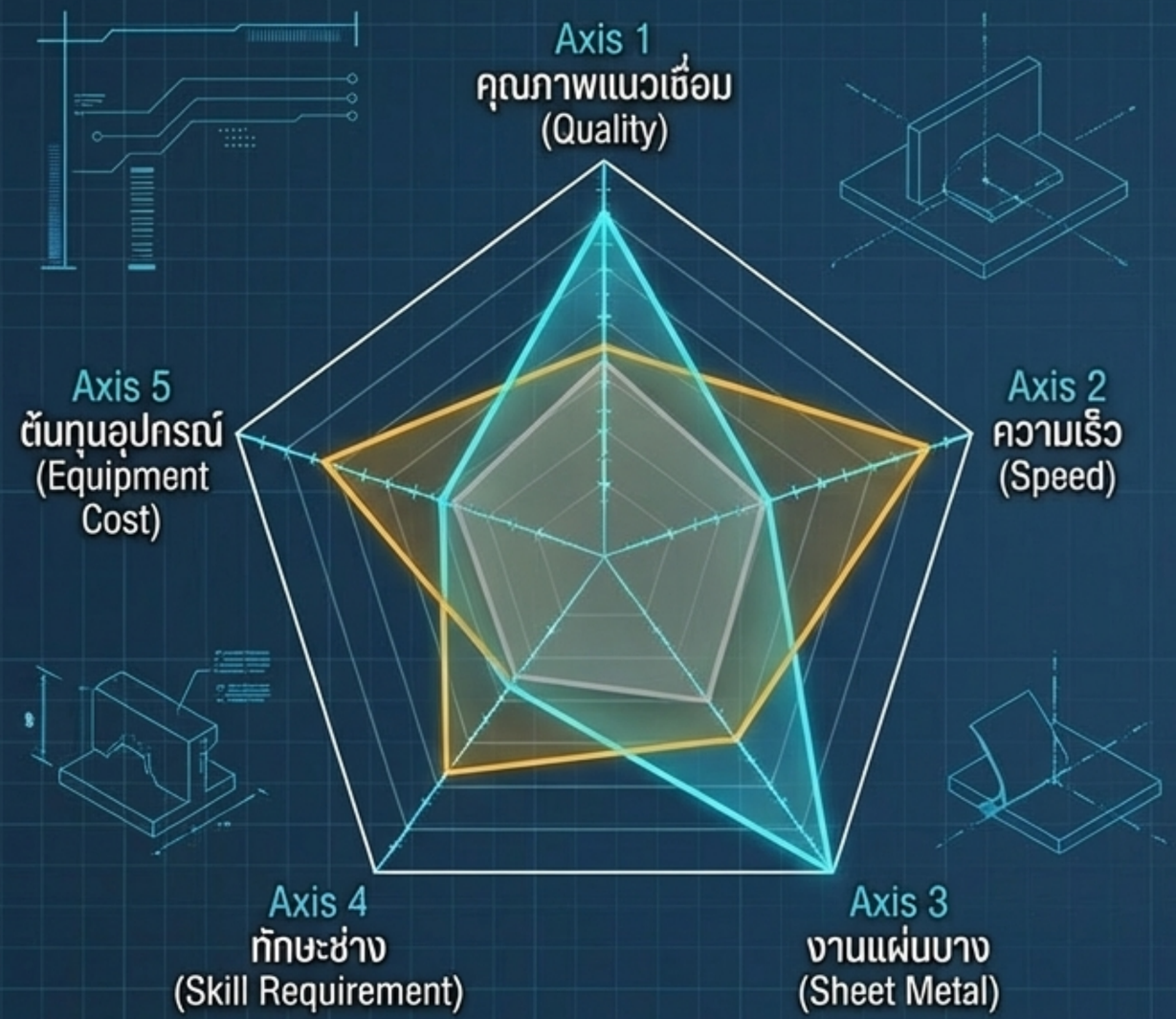
Solution: ต้องใช้อุปกรณ์พ่นแก๊สตามแนวหลัง (Trailing Shield) หรือเชื่อมภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ (Glove Box)





NotebookLM

COMPARATIVE ANALYSIS: TIG vs. MIG vs. STICK WELDING



EVALUATION MATRIX (SPEC SHEET DATA)

	TIG (GTAW): คุณภาพสูงสุด, ความเร็วต่ำ, งานแผ่นบางยอดเยี่ยม, ทักษะสูงมาก, อุปกรณ์ราคาสูง
	MIG (GMAW): คุณภาพดี, ความเร็วสูงมาก, งานแผ่นบางดี, ทักษะต่ำ-ปานกลาง, อุปกรณ์ราคาปานกลาง
	Stick (SMAW): คุณภาพปานกลาง, ความเร็วปานกลาง, งานแผ่นบางต่ำมาก, ทักษะปานกลาง, อุปกรณ์ราคาต่ำ

The TIG Paradox

ความคุ้มค่าในระยะยาว - แม้ TIG จะมีค่าแรงงานต่อหน่วยสูงที่สุดและทำงานช้าที่สุด แต่เป็นกระบวนการเดียวที่ให้ ROI สูงสุดในงานโครงสร้างวิกฤต (ท่อส่งก๊าซ/นิวเคลียร์) เพราะลดค่าใช้จ่ายจากการซ่อมงาน (Zero Rework)

NotebookLM

TIG WELDING HAZARD ZONES & PROTECTIVE MEASURES (SPEC SHEET ANALYSIS)

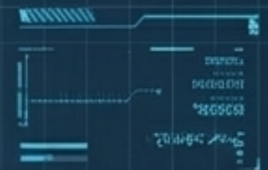
Eyes (UV/IR Radiation)

อาร์ก TIG สว่างและแผ่รังสีรุนแรงกว่า เพราะไม่มีควันบัง

Lens Shade Guide: <50A (Shade 8-10), 50-150A (Shade 10-12), >150A (Shade 12-14)

Skin (Arc Burn)

รังสี UV ทำผิวไหม้รุนแรงกว่าแสงแดดหลายเท่า ต้องสวมเสื้อหนัง/ผ้าทนไฟมิดชิด 100%



Lungs (Toxic Fumes/Gases)

- ก๊าซโอโซน: เกิดจากการแตกตัวของอากาศรอบๆ มีฤทธิ์กัดกร่อนปอด
- ฝุ่นทังสเตนผสมธอเรียม (Thorium): อันตรายจากกัมมันตภาพรังสีเมื่อเจียระไน ต้องมีระบบดูดฝุ่น (Local Exhaust)

Environment (Asphyxiation)

ก๊าซอาร์กอนหนักกว่าอากาศ หากรั่วในที่อับจะสะสมที่พื้น ไล่ออกซิเจน ทำให้ขาดอากาศหายใจโดยไม่รู้ตัว

NotebookLM

DIAGNOSTIC TROUBLESHOOTING TABLE (SPEC SHEET DATA)

ข้อบกพร่อง (Defect)	สาเหตุหลัก (Primary Cause)	วิธีแก้ไข (Rapid Solution)
ทังสเตนปนเปื้อน (Tungsten Inclusion)	ปลายลวดจุ่มบ่อหลอม / อาร์กเริ่มแรงเกินจนปลายสะบัดหลุด	เปลี่ยนใช้ระบบเริ่มอาร์ก HF และเจียปลายให้องศาเหมาะสม
รูพรุน (Porosity)	แก๊สคลุมไม่พอ / มีความชื้น / พื้นผิวมีคราบน้ำมัน	ตรวจสอบอัตราไหล (CFH) และเช็ดทำความสะอาดผิวด้วยอะซิโตน
การซึมลึกไม่สมบูรณ์ (Lack of Penetration)	กระแสไฟ (Amps) ต่ำเกินไป / บากมุมรอยต่อแคบเกินไป	เพิ่ม Amperage และเพิ่มขนาดช่องว่าง (Root Gap)
รอยแหว่งที่ขอบ (Undercut)	เดินแนวเร็วเกินไป / ส่ายหัวเชื่อมกว้างเกินขอบบ่อหลอม	ลดความเร็วในการเดิน และลดความยาวอาร์ก (Arc Length) ให้สั้นลง

NotebookLM

FUTURE TRENDS IN TIG WELDING & DIGITAL INTEGRATION (2025+ ANALYSIS)

Digitalization & Traceability

เครื่องเชื่อมยุคใหม่ติดตั้งระบบ Data Logging เพื่อบันทึกข้อมูลทุกแนวเชื่อมสำหรับการตรวจสอบย้อนกลับในโครงการขนาดใหญ่

High-Frequency Pulse TIG

ควบคุมการไหลของเนื้อโลหะระดับอะตอม สร้างแนวเชื่อมเกล็ดปลาสมบูรณ์แบบโดยพึ่งพาทักษะมือลดลง

แม้เทคโนโลยีจะก้าวล้ำเพียงใด กฎเหล็กทางวิศวกรรมของ GTAW จะไม่มีวันเปลี่ยนแปลง:
ความสะอาดสูงสุด (Cleanliness) - การปกป้องที่มิดชิด (Protection) - การจัดการความร้อนที่แม่นยำ (Heat)

NotebookLM