บทที่ 3

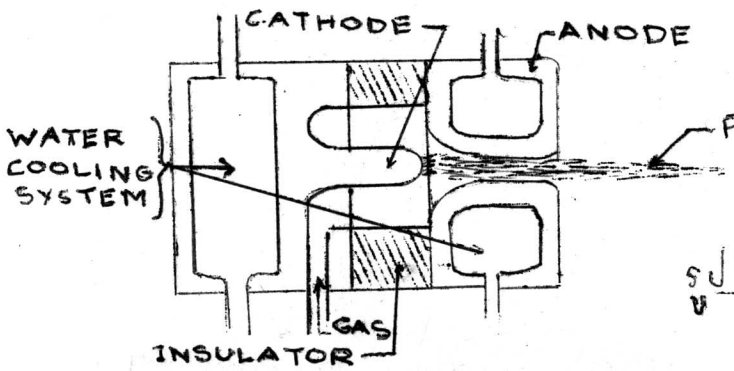
Plasma Burner และ Plasma Jet

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 หลักทั่ว ๆ ไปของ plasma burner

ดังได้กล่าวมาในบทก่อนแล้วว่า ขณะที่เพิ่มอุณหภูมิของแกสให้สูงขึ้น จะทำให้โมเลกุลหรืออนุของแกสที่วิ่งอยู่ทั่ว ๆ ไปอย่างอิสระ กลับยิ่งวิ่งเร็วยิ่งขึ้น ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของแกสให้สูงกว่า 6000 c แล้ว molecular bonds ส่วนใหญ่ของแกสจะหลุดแยกออกจากกัน จึงเกิดการวิ่งชนกันอย่างรุนแรงขึ้นระหว่างอนุต่าง ๆ ทำให้เกิด ionization ของแกสได้ การชนกันระหว่าง free electrons กับ positive ions และ neutral atoms จะทำให้เกิดแสงสว่างขึ้น แกสที่มีอุณหภูมิสูงและมีลักษณะเช่นนี้ เราเรียกว่า " plasma " ศักย์ของ plasma นี้เป็นศูนย์เพราะมีจำนวนของ electrons และpositive ions จำนวนเท่ากัน

ในทางกลับกันถ้าทำให้แกสเกิด ionization โดยทำให้เกิด arc ขึ้นในแกส ก็จะได้ plasma ที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งมีประโยชน์กับงานด้านต่าง ๆ ที่ต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ๆ วิธีนำเอา plasma ไปทำให้เป็นประโยชน์ได้คือ ทำให้เกิด arc ขึ้นระหว่าง electrodes ใน arc chamber ซึ่งถูกอัดเข้าไปด้วยแกสที่จะใช้เป็น working gas จะได้ plasma เป็นลำยาวออกมาจาก orifice ของ arc chamber ลำของ plasma นี้ เรียกว่า "plasma jet " เครื่องมือที่ผลิต plasma jet นี้เรียกว่า " plasma burner " ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Plasma burner

plasma burner ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. Cathode Low power plasma burner ส่วนมากใช้โลหะแท่งกลมที่มีจุดหลอมเหลว และ thermionic emission ของ electrons สูงเป็น cathode โดยทั่ว ๆ ไปแล้วใช้ Thoriated tungsten เป็น cathode, Tungsten ที่มีส่วนผสมของ thorium ประมาณ 2% จะให้ thermionic emission ของ electrons สูงประมาณ 1000 A/cm^2 บางทีก็อาจใช้แท่ง carbon เป็น cathode ได้ แต่จะทำให้ได้ plasma jet ไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากการนำความร้อนของ carbon ไม่ดี carbon cathode จึงกร่อนได้เร็ว ทำให้มีส่วนผสมของ carbon ออกมากับ plasma jet ซึ่งอัตราของส่วนผสมนี้ต้องไม่มากกว่า 4% โดยน้ำหนัก จึงจะใช้ carbon เป็น cathode ได้

R.R. John และ W.L. Bade[1] ได้ทดลองพบว่าถ้าใช้โลหะเป็น cathode และใช้อากาศเป็น working gas ที่ความดัน 1 atm. จะได้ enthalpy ของ plasma jet ประมาณ 6,500 cal./g.

2. Anode ใช้โลหะที่มีประสิทธิภาพของการนำความร้อนได้สูง ส่วนมากใช้ทองแดงเป็น anode เพราะมันนำความร้อนได้ดี anode นี้ เจาะรูทำเป็น orifice ของ plasma jet รูนี้ต้องเป็นวงกลมเพื่อให้เข้ากับลักษณะของ plasma ที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม ดังที่กล่าวมาแล้วรอบ ๆ orifice นี้จะต้องมีระบบการหล่อเย็นโดยใช้น้ำ (water cooling system) ให้พอเพียงเพื่อป้องกันไม่ให้ orifice ละลายกร่อนไป

3. Working gas ควรเป็นแกสที่ไม่ช่วยในการเผาไหม้ ทั้งนี้เพื่อรักษา electrode ไม่ให้กร่อนเร็ว ดังนั้นจึงใช้แกสเฉื่อยเป็น working gas เช่น Nitrogen, Argon, Neon, Krypton, Helium ฯลฯ ยิ่งใช้แกสที่มี ionization energy สูง จะยิ่งได้รับ plasma jet ที่มีความร้อนสูง ทิศทางการไหลของ working gas จะต้องอยู่ในลักษณะที่ทำให้ arc หรือ cathode spot เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปรอบ ๆ ผิวหน้าของ cathode ซึ่ง เป็นผลทำให้ power loss ที่ให้กับ cathode กระจายไปทั่ว ๆ ผิวหน้า cathode

---

1) John R.R., and Bade W.L., American Rocket Soc., J. 31, no.1 (1961)

เป็นการลดการกร่อนของ cathode ลงได้ บางทีใน high power plasma burner ก็ต้องใช้ transverse magnetic field ช่วยทำให้ arc หรือ cathode spot เคลื่อนที่เพื่อเหตุผลดังกล่าว

working gas ที่ใช้ต่างชนิด จะได้ burning voltage ต่างกัน K. Phillips ได้ทดลองพบว่า ถ้าใช้ Argon เป็น working gas, voltage ระหว่าง electrode เพียง 30 v. ก็พอที่จะทำให้ plasma jet ติดอยู่ได้ แต่ถ้าใช้ Hydrogen เป็น working gas จะต้องใช้ voltage ถึง 120 v. Hydrogen plasma มีประสิทธิภาพ และ enthalpy มากที่สุด คาแตกต่างของการใช้ working gas ชนิดต่าง ๆ กันได้แสดงไว้ใน Table 3.1

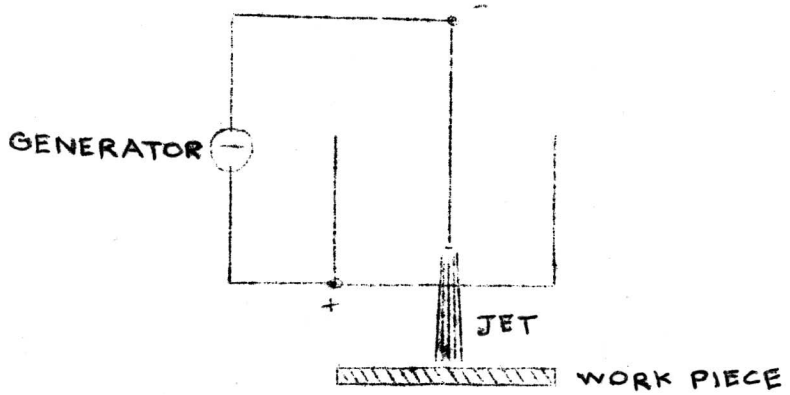
Gas	Arc voltage (v)	plasma enthalpy Btu/lb	Gas temp. (°c)	Typical eff.cy %
Argon	25	8,500	12,000	40
Helium	45	90,000	17,000	45
N_2	65	18,000	6,500	60
H_2	120	140,000	4,500	80

Table 3.1 คุณสมบัติของแกสชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ใน plasma burner ขนาด 50 KW.

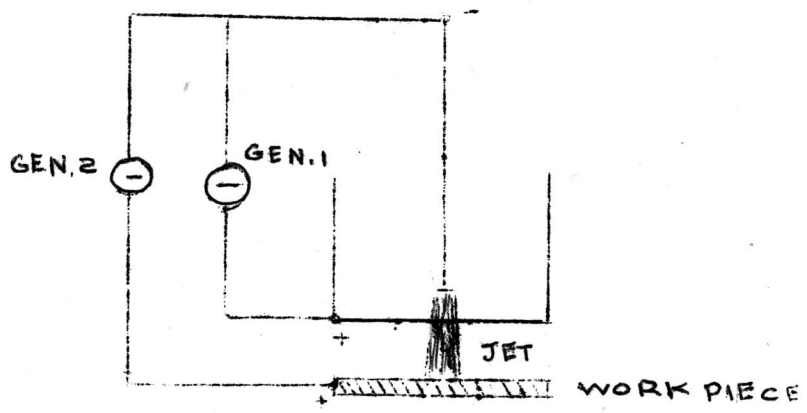
4. Power supply power ที่จะจ่ายให้กับ plasma b urner ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. generator) การต่อวงจรใช้งานของ plasma burner มี 2 วิธี คือ

ก. การต่อแบบ non - transfered arc ต่อได้คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้าโดยตรงกับ plasma burner โดยให้ขั้วลบต่อเข้า cathode และขั้วบวกต่อเข้ากับ anode ดังในรูปที่ 3.2

ข. การต่อแบบ transfered arc การต่อก็เหมือนต่อแบบแรก เพียงแต่ว่ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงใหม่อีกเครื่องหนึ่งต่อเข้าระหว่าง cathode และ working piece ดังรูปที่ 3.3 การต่อวิธีนี้ความร้อนที่ working piece ได้รับจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการต่อแบบแรก



รูปที่ 3.2 NON-TRANSFERED ARC



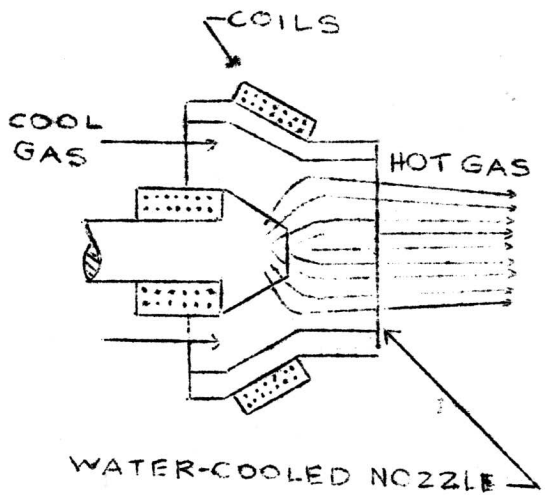
รูปที่ 3.3 TRANSFERED ARC.

3.2 Power rating ของ plasma burner

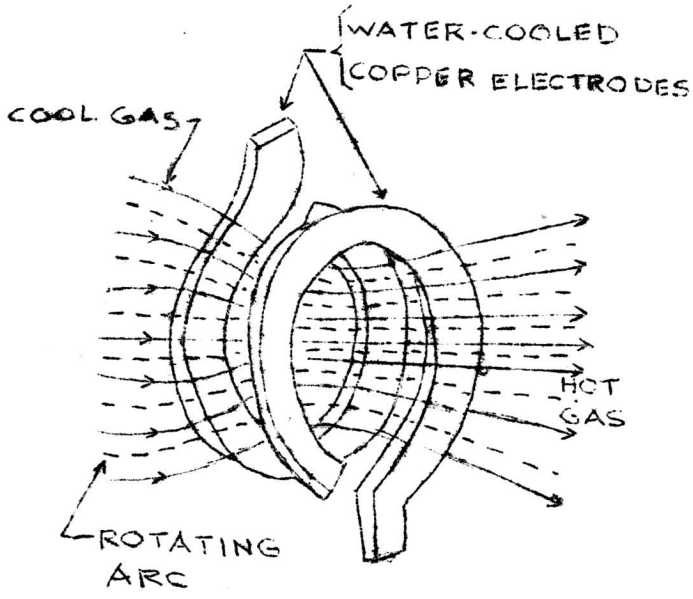
ขนาดของ plasma burnerขึ้นอยู่กับpower output ของ plasma jetเช่น plasma burner มีขนาด 100 KW. หมายความว่า plasma burnerนี้ให้ plasma jetที่มีกำลังหรือ ratingเพียง 100 KW.ดังนั้นplasma burner ส่วนมากจึงแบ่งแยกเป็นชนิดตาม power rating ของมัน แต่จะกำหนดตายตัวลงไปเลยว่า plasma burnerเครื่องนี้มีกำลังเท่านั้นเท่านี้เลยไม่ได้ เพราะ powerที่ได้รับมากที่สุดจาก plasma burnerขึ้นอยู่กับชนิดของ working gas

Plasma burner ที่มีกำลังสูง ๆ ตั้งแต่ 200 KW. ขึ้นไป การสึกกร่อนของ electrodes จะมีมาก ไม่สดวกที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้จะต้องทำให้ arc spot เคลื่อนที่ไปโดยรอบผิวหน้าของ electrode โดยการใช้ magnetic field strength ประมาณ 200 - 300 oersted ซึ่งทำได้โดยพัน coils รอบ ๆ electrodes ดังในรูปที่ 3.4

สำหรับplasma burnerที่มีกำลังสูง ๆ การทำ electrodeก็จะแตกต่างไปจาก electrode ที่ใช้ในงานค้นคว้านี้และการที่จะเคลื่อนที่ arc spot ไปรอบ ๆ ผิวหน้าของ electrodes จะต้องใช้ self - induced magnetic field strength ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5

3.3 Characteristics ของ plasma jet

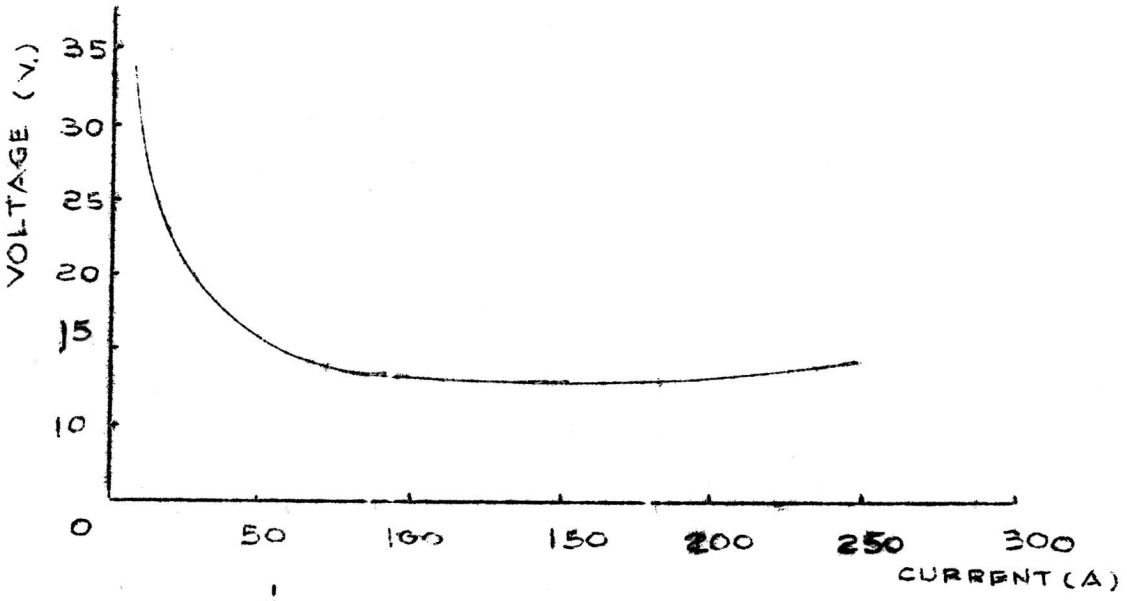
Arc characteristic curves ทั่วไปสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ ซึ่งประกอบด้วยสมการของ hyper bola และสมการของเส้นตรง สำหรับสมการของ hyper bola ($V = C/I$) แสดงถึง negative characteristic เช่นจะแสดงให้เห็นจุดแหลมของ voltage เมื่อเพิ่มกระแสให้มากขึ้น และแสดงถึงส่วนโค้งของเส้นกราฟ ส่วนสมการของเส้นตรง ($V = A + BI$) เป็นส่วนสำคัญที่แสดงถึง gradient ของ positive characteristic สมการของ hyper bola จะทำให้ voltageลดลงเรื่อย ๆ เมื่อกระแสเพิ่มขึ้น

สมการของ arc characteristic curve เขียนได้ดังนี้

$$V = A + BI + C / I \qquad (3.1)$$

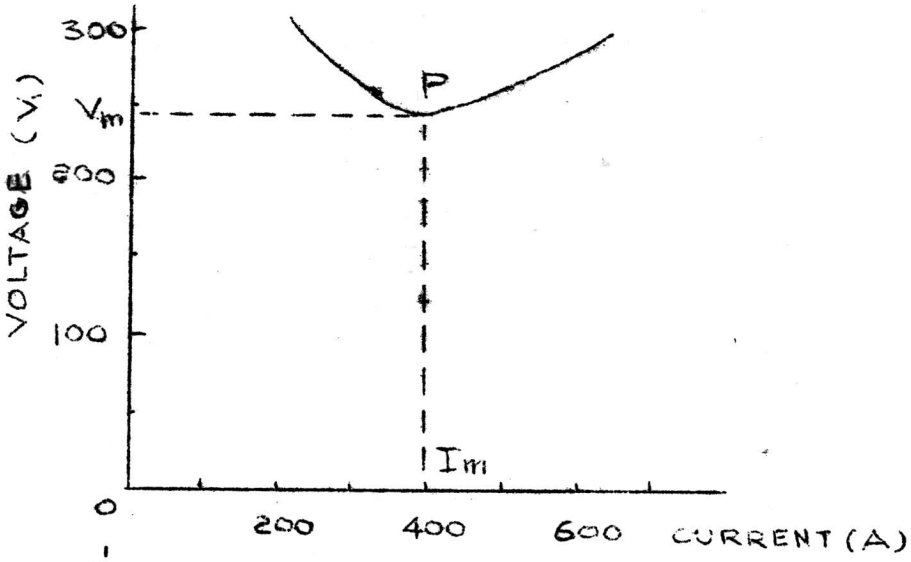
ซึ่ง V และ I เป็น voltage และกระแสของ arc

A,B และ C เป็น positive constants.



รูปที่ 3.6 current - voltage arc characteristic ของopen arc ในแกส Argon

สำหรับ volt - ampere characteristic ของ plasma jet ที่มีความดันของ working gas สูง จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 voltage - current characteristic ของ plasma jet เมื่อใช้อากาศเป็น working gas, total mass flow = 3.6 g/sec

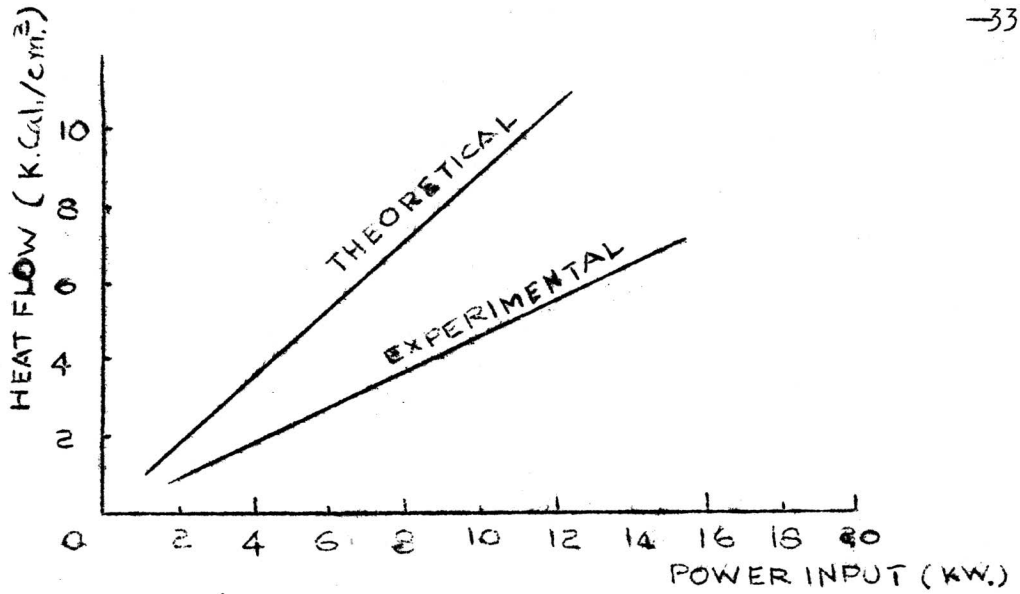
V_m เป็น arc voltage ที่มีค่าต่ำสุด V_m นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของ orifice ของ plasma burner ถ้า orifice เล็กลง จะทำให้ V_m มีค่ามากขึ้น และจุด P จะเลื่อนไปข้างหน้า ซึ่งทำให้ได้ค่า I_m น้อยลง.

3.4 ความสัมพันธ์ของ Heat flow กับ power input ของ plasma burner

KARL BREH [1] ได้หาความสัมพันธ์ของการไหลของความร้อนกับ power input ของ plasma burner ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 จะเห็นว่า อัตราการไหลของความร้อนจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ power input ของ plasma jet

---

1) KARL BREH " Das Thermische Plasma and Seine Technischen Anwendungen " Maschinenmarkt 68 (1962).



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของ Heat flow กับ power input

3.5 วิธีวัดอุณหภูมิของ plasma jet

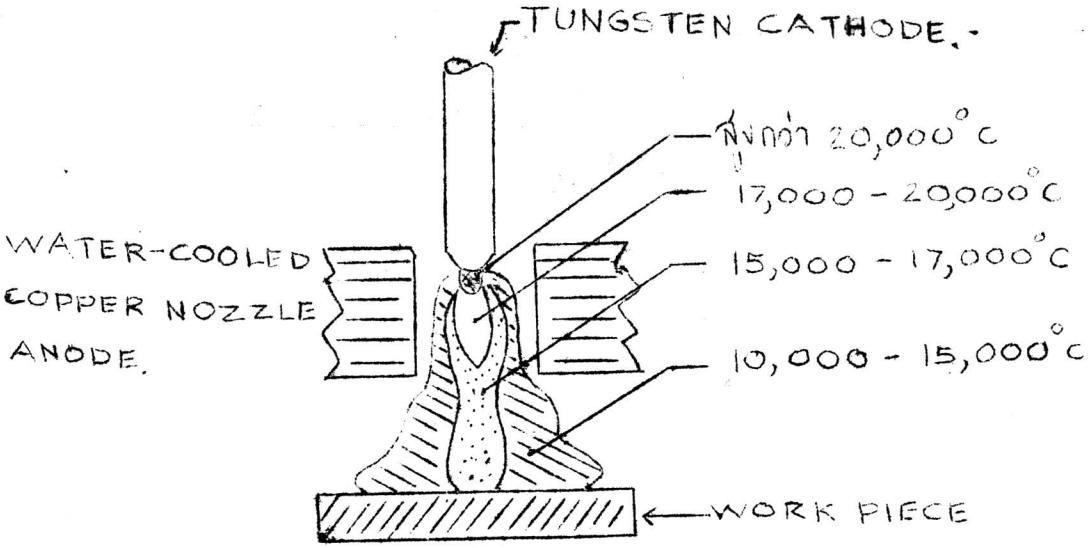
โดยทั่ว ๆ ไป enthalpy และอุณหภูมิของ plasma jet สามารถคำนวณได้จากค่าแตกต่างระหว่าง power input และ power loss ที่ออกไปกับน้ำที่ใช้หล่อเย็น (cooling water), ความดัน และ mass flow data วิธีการคำนวณหาอุณหภูมิจะต้องคิดค่า error ที่เกิดขึ้นด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการไหลของ working gas ต่ำ ๆ แล้ว energy ใน plasma jet จริง ๆ จะน้อยกว่า energy ที่ plasma burner ได้รับ ทำให้อุณหภูมิ ของ plasma jet ที่คำนวณได้จาก power input และ power loss สูงกว่าอุณหภูมิที่แท้จริง ดังนั้นที่อัตราการไหลของ working gas ต่ำ ๆ จะต้องหาค่า error ที่เกิดขึ้นด้วย.

วิธีวัดอุณหภูมิของ plasma jet มี 2 วิธีด้วยกัน

ก. โดยใช้ calorimeter ซึ่งประกอบด้วยแท่งทองแดงที่ใช้รับความร้อน (copper heat sink) หนัก 33 กิโลกรัม ใช้รับความร้อนส่วนใหญ่จาก plasma jet ไว้ ขณะที่แก๊สผ่านพ้นไปจาก calorimeter วัดอุณหภูมิของแก๊สโดยใช้ thermocouple จากนั้นพ่นแก๊สเข้าไปยัง water - cooled heat exchanger แล้ว ผ่านแก๊สนี้เข้าไปยัง mass flow measuring apparatus จากความรู้เกี่ยวกับ running time, ความดัน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของแท่งทองแดง และ mass flow rate ก็จะสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของ plasma jet ได้

3.6 Temperature distribution ของ plasma jet

อุณหภูมิของ plasma jet จะสูงที่ใกล้ ๆ กับ cathode และจะลดต่ำลงที่ระยะห่างออกไปดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งแสดงถึง temperature distribution ของ plasma jet ซึ่ง K.Phillips ได้ทดลองกับ transferred argon arc ที่กระแสไหล 200 A จะเห็นว่าอุณหภูมิใกล้ ๆ cathode จะสูงเกิน 20,000° C แต่ที่ระยะห่างออกมาจาก orifice ของ plasma burner อุณหภูมิจะลดลงเหลือเพียง 10,000° c เท่านั้น



รูปที่ 3.10 Temperature distribution ของ 200 A transferred argon arc plasma jet

3.7 ประโยชน์ของ Plasma Jet ในด้านต่าง ๆ

Low power applications Plasma jet ที่มีกำลังต่ำกว่า 100 KW ลงมา จัดเป็น Low power plasma jet การใช้ plasma jet ขนาดนี้ก็เหมือนกับการใช้ flame processes ทั่ว ๆ ไป ถึงแม้ว่าต้นทุนของการใช้ Low power plasma jet จะสูง แต่งานที่ได้ออกมาจะดีกว่า เพราะว่า plasma jet ใช้ inert gas

เป็น working gas ส่วนการใช้ flame processes ทั่ว ๆ ไป oxygen จะทำให้งานที่ได้ไปดีเท่า ประโยชน์ของ Low power plasma jet มีดังนี้

ก. <u>การเคลือบ หรือ ฉาบ</u> (Spraying) อุณหภูมิที่ได้รับจาก plasma jet นี้สูงมาก สามารถทำให้โลหะทุกชนิดระเหิด (vapourized) ได้ทันที นอกจากนี้ inert gas ไม่ทำให้ผิวของงานที่เคลือบเสีย ซึ่งวิธีการเคลือบโดยใช้ flame processes ทั่ว ๆ ไป มักจะมีพวก oxide และโลหะที่ไม่ละลายเกาะติดอยู่ที่ผิว เนื่องจากอุณหภูมิของ flame ต่ำ ประมาณ 3000° C เท่านั้น

วิธีเคลือบ พ่นโลหะที่จะใช้เคลือบซึ่งถูกบดให้เป็นผง ตรงไปที่ plasma jet ใกล้ ๆ กับ orifice ของ plasma burner หรือไม่ก็พ่นขนานกับ cathode เข้าไปใน arc chamber เลย ซึ่งวิธีหลังนี้เป็นที่เชื่อถือได้ว่า โลหะที่ใช้เคลือบได้รับความร้อนเต็มที่ สวนมากก็ใช้วิธีนี้สำหรับเคลือบในโรงงานอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป ความละเอียดของผิวงานที่เคลือบขึ้นอยู่กับความละเอียดของผงโลหะที่ใช้ ถ้ายิ่งละเอียดก็ยิ่งทำให้ได้ผิวของงานละเอียดขึ้น เพื่อให้โลหะที่เคลือบติดแน่น ผิวของชิ้นงานจะต้องเตรียมทำให้สะอาด โดยการล้างด้วยน้ำยาเคมี หรือขัดด้วยกระดาษทราย ถ้าต้องการให้ผิวหน้าของชิ้นงานแข็งทนทาน ก่อนเคลือบต้องเผาชิ้นงานที่จะเคลือบในสูญยากาศเสียก่อน บางทีการเคลือบไม่ติดแน่นพอที่จะทนกับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ วิธีแก้ไขทำได้โดยผสม molybdenum เข้าไปกับโลหะที่ใช้เคลือบ จะทำให้ชิ้นงานทนทานกับความร้อนเย็นที่เปลี่ยนแปลงได้.

นอกจากนี้การเคลือบโดยใช้ plasma jet สามารถทำให้ผิวของชิ้นงานทนทานต่ออุณหภูมิสูง และการเสียดสีที่จะทำให้สึกกร่อนได้ดี เช่น การใช้ Tunsten carbide เคลือบหนาจะทำให้ชิ้นงานทนทานต่อการเสียดสี ถึงแม้จะทำให้ tensile strength ลดต่ำลงกว่าเดิมก็ไม่เป็นไร deposit ที่เกิดขึ้นจากการเคลือบโดยใช้ Tungsten carbide ไปสามารถตัดหรือขัดออกได้ง่าย ๆ โดยทั่ว ๆ ไปใช้เคลือบหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร.

การต่อวงจรแบบ non - transfer arc ใช้ในการเคลือบโลหะซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ เพราะชิ้นงานไม่ร้อน แต่การต่อแบบ Transfer arc

ชิ้นงานจะร้อน ซึ่งเป็นผลทำให้ชิ้นงานที่ได้มีผิวหน้าราบเรียบ จึงใช้การต่อแบบนี้กับงานที่ไม่ต้องการขัดผิวหน้าเลย เช่น การเคลือบผิวของดาวเทียม และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ทนต่อการเป็นสนิม และการกึกกร่อน

ข. <u>การตัดโลหะ</u> (Metal cutting) การใช้ transfer plasma jet ตัดโลหะ เวลาที่ใช้ตัดแผ่นเหล็กกล้าที่มีความหนาต่ำกว่า 2.00 cm จะเป็นครึ่งหนึ่งของเวลาที่ใช้ oxy - acety lene flame ความหนาของแผ่นโลหะที่ใช้ตัดด้วย plasma jet ขึ้น อยู่กับ arc voltage ยิ่ง arc voltage สูง ก็ยิ่งตัดได้หนา เพื่อที่จะเพิ่ม arc voltage ให้สูง จึงใช้ Nitrogen หรือ Hydrogen - Nitrogen ผสมกัน เป็น working gas เพราะว่า Nitrogen จะให้ arc voltage สูงกว่าใช้ argon gas เมื่อ arc voltage สูง power ที่ได้ก็จะสูงตาม สวนดีพิเศษอีกอย่างหนึ่งของการใช้ plasma jet ตัดโลหะ คือ ขอบของแผ่นโลหะที่ตัดได้จะเรียบไม่ขรุขระไม่ต้องไปตบแต่งอีก ซึ่งเป็นผลดีที่จะใช้เชื่อมต่อไปได้เลย.

K. Phillips ได้เปรียบเทียบราคาของการใช้จ่ายในเวลา 1 ชั่วโมง ของ Oxy - acetylene flame และ plasma jet ดังแสดงในตารางที่ 3.1 การหาคาเสื่อมราคาคิด 20 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และอาทิตย์หนึ่งใช้งาน 20 ชั่วโมง ราคาของแกสคิดเทาราคาทั่ว ๆ ไป ในท้องตลาด ถ้าสมมติว่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับงานในการใช้ plasma jet และการใช้ oxy - acetylene flame เท่ากัน สวนดีที่ควรพิจารณาอีกอย่างหนึ่งคือ เวลาที่ใช้ plasma jet ตัดโลหะจะเร็วกว่าเวลาที่ใช้ oxy - acetylene flame ตัด ครึ่งหนึ่ง ซึ่งทำให้การทำงานรวดเร็วขึ้น.

ตารางที่ 3.1 [1]

ค่าเปรียบเทียบราคาของ Oxy - acetylene - flame plasma jet

Power out put ของ plasma burner	100	KW
ประสิทธิภาพของ plasma burner	65	%
Power input ของ plasma burner	155	KW
ประสิทธิภาพของ generator	70	%
power ทั้งหมดที่ใช้ผลิต 100 KW plasma	220	KW
อัตราความร้อนที่ถ่ายเทเมื่อเทียบกับ oxy - acetylene flame	300,000	Btu/hr.
อัตราการใช้ Oxygen	600	ft^3/hr.
อัตราการใช้ Acetylene	250	ft^3/hr.

ราคาของ plasma jet

ค่าไฟฟ้า	19	s/hr.
Nitrogen 250 ft^3/hr ราคา 90 s/1000 ft^3	23	s/hr.
ค่าเสื่อมราคาโดยมีอายุ 1000 ชั่วโมงตอปีจากราคาจริง		
ของ plasma burner £ 5000	20	s/hr.
ค่าเปลี่ยน electrodes	10	s/hr.
ราคารวม	72	s/hr.

ราคาของ oxy - acetylene flame

Oxygen ราคา 50 s/1000 ft^3	30	s/hr.
Acetylene ราคา 200 s/1000 ft^3	50	s/hr.
ราคารวม	80	s/hr.

---

1) **Phillips, K., Production and Application of Plasma Jets," A.E.I. Engineering, Vol. 5, No. 1, Jan./Feb. 1965**

ค. กลึง (Machining) plasma jet อาจใช้แทนเครื่องกลึงได้โดยใช้กลึงงานที่หยาบ ๆ และต้องการเร็ว โลหะที่แข็งมาก ๆ หรือพวก ceramics ก็ต้องใช้ plasma jet กลึง เพราะใบมีดกลึงธรรมดาไม่สามารถกลึงได้ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะเปรียบเทียบส่วนดีและส่วนเสียของการกลึงทั้งสองชนิด จากการทดลองกลึงปรากฏว่าในการกลึงเหล็กกล้า 1 ลูกบาศก์นิ้วต่อหนึ่งหน่วยเวลา เครื่องกลึงธรรมดาใช้กำลังเพียง 1 กำลังม้า ส่วน plasma jet ต้องใช้กำลังถึง 5 กำลังม้า.

ง. Heat treatment กับโลหะ วิธีทำเหล็กให้แข็งโดยให้ความร้อนกับเหล็ก แล้วทำให้เย็นลงทันที (quenching) วิธีการเช่นนี้จะได้ผลดีหรือไม่ดีก็ขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทของความร้อนมากหรือน้อย(ถ่ายมากยิ่งได้ผลดี)ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ให้ความร้อน และขึ้นอยู่กับวิธีการทำให้เย็นลงทันที (quenching) การใช้ plasma jet เท่านั้น ที่จะให้ความร้อนถ่ายเทในอัตราสูงกับโลหะได้ ซึ่งทำให้วิถีของการควบคุมการให้ความร้อนกว้างขึ้นมาก

ในการทำเพลาเหล็กกล้า plasma jet จะให้ความร้อนกับเพลาเหล็กซึ่งหมุนอยู่ด้วยความเร็วหลายร้อยรอบต่อนาที และติดตามด้วยขบวนการทำให้เย็นลงทันที (quenching) โดยการพ่นน้ำใส่เพลาเหล็ก วิธีนี้สามารถผลิตเพลาเหล็กกล้าให้แข็งได้ประมาณ 1 ฟุตต่อนาที

High power application

plasma jet ที่มีกำลังตั้งแต่ 100 KW จนถึง 10 MW จัดเป็น high power plasma jet ซึ่งมีประโยชน์ดังนี้.-

ก. การวิจัยที่ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ เนื่องจาก plasma jet ให้ความร้อนสูงมาก และควบคุมได้ง่าย จึงมีประโยชน์มากในการวิจัยต่าง ๆ ที่ต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ๆ เช่นการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาของ ionised gas ที่ต่อสนามแม่เหล็ก (Magneto - gas - dynamics) การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุ

ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิสูง ๆ ปัญหาเกี่ยวกับการปล่อยดาวเทียมก็ใช้ plasma jet ให้ความร้อนกับผิวของดาวเทียม เพราะมีอุณหภูมิสูงเทียบกับอุณหภูมิของผิวดาวเทียม ขณะกลับสู่บรรยากาศของโลก เพื่อทราบว่าดาวเทียมจะคงความร้อนขณะกลับเข้าสู่บรรยากาศของโลกได้หรือไม่ นอกจากนี้ความรู้เกี่ยวกับแกสที่มีความร้อนสูงไหลเร็วกว่าเสียง (high temperature supersonic gas flow) ก็ได้รับด้วยการพน plasma jet เข้าไปในถังสูญยากาศ

ข. <u>การสังเคราะห์ทางเคมี</u> (Chemical Synthesis)

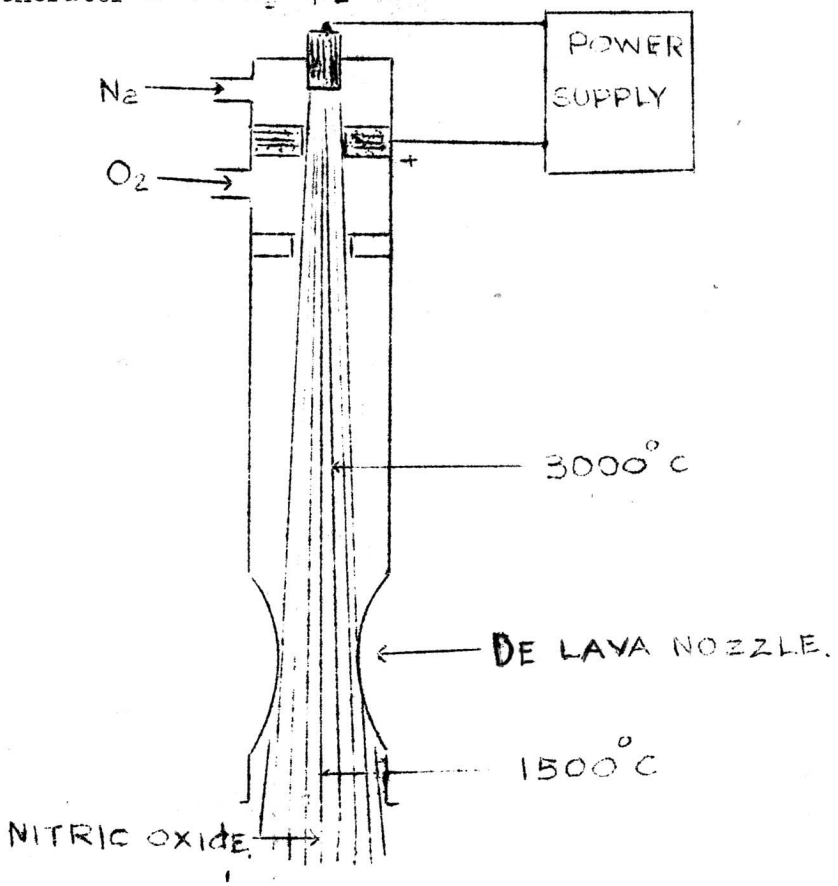
ถ้าเพิ่มประสิทธิภาพของ plasma burner ให้ดีขึ้น และลดราคาค่าแตกต่างระหว่างราคาของน้ำมันเชื้อเพลิง และราคาไฟฟ้าให้น้อยลง plasma jet จะเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญในการสังเคราะห์ทางเคมี

การใช้ electric arc ผลิต nitric oxide ที่เรียกว่า Birkeland - Eyde process ก็ได้ทำกันแล้ว ถ้าใช้ plasma jet ผลิต nitric oxide จะได้ผลดีกว่าการใช้ open arc ธรรมดา อุณหภูมิที่แกส Nitrogen จะรวมกับแกส Oxygen ได้ดีที่สุดประมาณ 3000 °C รูปที่ 3.11 เป็นแบบของขบวนการผลิต Nitric oxide เพื่อที่จะไม่ให้ electrodes กร่อนมาก จึงใช้แกส Nitrogen เป็น working gas ใน plasma jet หลังจากนั้นจึงใช้ Oxygen เติมเข้าไปดังในรูปที่แสดงด้วยความดันประมาณ 10 atm. แกสผสมที่ได้ออกมาจะถูกทำให้เย็นโดยผ่านไปตาม De Laval nozzle โดยวิธีนี้จะทำให้การแตกตัว (decomposition) ลดลงได้.

การผลิต acetylene โดยใช้ plasma jet ที่มีอุณหภูมิสูง ๆ ก็เป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้ค่าต้นทุนการผลิตน้อยลง ในบางประเทศ เช่น ประเทศ - เยอรมัน ซึ่งมีค่าไฟฟ้าถูก เขาก็ผลิต acetylene โดยใช้ arc process

Metal nitrides ซึ่งเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง ก็ผลิตได้โดยให้โลหะได้รับความร้อนจาก Nitrogen plasma jet ขบวนการนี้จะมีราคาถูกก็ต่อ

เมื่อเป็นการผลิตจำนวนมาก ๆ ซึ่งต้องการกำลังจาก plasma jet และ D.C. generator ขนาดใหญ่ ๆ



รูปที่ 3.11 แบบของขบวนการผลิต Nitric oxide

ค. Plasma Furnaces เพราะอุณหภูมิของ plasma jet สูงจึงสามารถหลอมโลหะได้เป็นตัน ๆ ในเวลารวดเร็ว ทำให้เป็นที่สนใจของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กกล้าทั่ว ๆ ไป และด้วยเหตุผลอันเดียวกันนี้ ก็สามารถทำให้ปฏิโลหะละลายทันที่ พวกแกสเฉื่อย (inert gas) เช่น Argon ก็จะช่วยทำให้ความบริสุทธิ์ของโลหะที่ได้ดีขึ้น เนื่องจาก plasma jet ให้ความร้อนเป็นลำแคบ ดังนั้นจึงใช้ Magnetic stiring ที่มีกำลังสูง ๆ จาก arc current เพื่อให้ plasma jet กระจายออก และเหมาะสมกับการใช้เป็นเตาหลอมโลหะ เวลาในการใช้ plasma jet หลอมละลายเหล็กก็จะน้อยกว่าเวลาที่ใช้ induction furnace ประมาณ 5 เท่า ในการหลอมเหล็กจำนวนเท่ากัน.

- - - - - -