การสร้างเตาอาร์คพลาสมา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านโลหะกรรมพลาสมา

โดย

วีระชัย บัญชรเทวกุล
สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

โครงการวิจัย เลขที่ 68-MRD-2524
ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วศ
วศ 15
001831

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ

มิถุนายน 2525

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบ
ต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสาร
ฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็น
ของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13 ก.ค. 2527

การสร้างเตาอาร์คพลาสมาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านโลหะกรรมพลาสมา

โดย

อาจารย์ วีระชัย บัญชรเทวกุล

วุฒิ วศ.บ.(จุฬาฯ), วศ.ม.(จุฬาฯ)

อาจารย์ สุวิทย์ บุณยัยยะ

วุฒิ ค.อ.บ. (เทคโนโลยีอาชีวศึกษา)

โครงการวิจัยเลขที่ 68-MRD-2524

ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

มิถุนายน 2525

บทคัดย่อ

การสร้างเตาอาร์คพลาสมาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านโลหะกรรมพลาสมา เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากเรื่อง "การพัฒนาอาร์คพลาสมา" เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการวิจัยระดับห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับงานด้านโลหะกรรมพลาสมา ในเรื่อง การเชื่อม การหลอม และการถลุงโลหะ เป็นต้น การพัฒนาคบพลาสมาที่ใช้เป็นฮีทเตอร์ ซึ่งสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นคบพลาสมาที่ใช้ในงานตัดโลหะ รวมทั้งการศึกษาระบบอาร์คแบบนัน-ทรานสเฟอร์ (Non-transferred) และแบบทรานสเฟอร์ (Transfer)

สิ่งที่จะเป็นอุปสรรคในการวิจัย คือ ปัญหาในการสร้างคบพลาสมาให้มีลักษณะตรงตามแบบที่กำหนดไว้ เนื่องจากขาดช่างฝีมือที่มีความละเอียดอ่อน และมีประสบการณ์ในการสร้างเครื่องมือให้เหมาะสมในการใช้งาน ปัญหาการไหลของพลาสมาก๊าซที่มีผลต่อการฟุ้งกระจายของวัสดุขณะใช้งาน ความร้อนจากเปลวพลาสมาที่มีผลต่อการอาร์ค และระบบระบายความร้อน ความคล่องตัวในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่เกิดอาร์คขณะใช้งาน และความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในขณะใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

The development of arc plasma furnace with applications in metallurgy is a continuation of the work done earlier on "Arc Plasma Development" The objective is to extend the research work in plasma metallurgy up to laboratory scale especially in welding, melting and ore processing. Studies of transferred and non-transferred arcs essential for the development of plasma torches are also included. Besides a plasma burner is modified as plasma torch for cutting.

The main obstacle in the research and development in the lack of supporting facilities in fabricating the furnace which must be carried out by skillful technicians with precise machine tools. Moreover problems in the dispersion of samples in powder forms at high plasma gas flow rate cooling of the furnace, rotation of arc over the samples for uniform heat treatment and the safety measures for research workes during operation are yet to be solved.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช ผู้ริเริ่มให้มีการดำเนินการและสนับสนุนงานวิจัยอาร์คพลาสมาอย่างต่อเนื่อง ศาสตราจารย์ สุวรรณ แสงเทียร หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคโนโลยี และรองศาสตราจารย์ มนัส สถิรจินดา หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโลหการ ที่ให้กำลังใจตลอดจนให้คำแนะนำด้านการดำเนินงาน ขอขอบคุณสถาบันวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อุดหนุนทุนวิจัยรวมทั้งคณาจารย์และบุคคลากรในภาควิชาเคมีเทคโนโลยีทุกท่าน

งานพัฒนาและวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี ด้วยการช่วยเหลืออย่างดีจากคุณไพบูลย์ นวลนิล คุณเดโช ทองอร่าม และคุณมะลิวัลย์ แย้มพราย ที่กรุณาสละเวลาช่วยงานด้านสิ่งพิมพ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายชื่อแผนภาพ

แผนภาพที่	ชื่อแผนภาพ	หน้า
1	แสดงระบบการทำงานของเตาอาร์คพลาสมาที่พัฒนาขึ้น	12
2	แสดงระบบควบคุมของเตาอาร์คพลาสมา	13
3	วงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก	15
4	วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูง ความถี่สูง	16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายชื่อรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะกับระดับพลังงานอิสระของโมเลกุลหรืออะตอมของสสาร	1
2	แสดงการเกิดพลาสมาในภาชนะปิด	4
3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง energy content ของพลาสมากาซกับอุณหภูมิของพลาสมาที่ความดันปกติ	7
4	แสดงการเกิดพลาสมาของกาซไดอะตอมมิค และกาซเฉื่อย	8
5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล และกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้อาร์กอนเป็น อาร์คพลาสมา	9
6	แสดงการกระจายของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา	10
7	แสดงการกระจายของ velocity pressure ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา	10
8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง duty cycle กับกระแสที่ใช้งาน	15
9	ก) แสดงลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ปรับ ข) แสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรเรียงกระแส ค) แสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรกรองกระแส	15
10	แสดงลักษณะของขดเหนี่ยวนำ(L_2) ซึ่งจะต้องทนต่อกระแสไฟฟ้าสูงได้	16
11	แสดงรายละเอียดของคบพลาสมาสำหรับใช้ในงานหลอมโลหะ และของจริงที่สร้างขึ้น	17
12	แสดงรายละเอียดของคบพลาสมาที่ใช้งานเป็นฮีทเตอร์และของจริงที่สร้างขึ้น	18
13	แสดงรายละเอียดของเบ้าหลอมโลหะ และของจริงที่สร้างขึ้น	19
14	แสดงการติดตั้งไดโอดบนแผ่นระบายความร้อน	21

รายชื่อรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
15	แสดงเตาอาร์คพลาสม่าขนาดกำลังไฟฟ้าประมาณ 20 kW ที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ	22
16	แสดงการพัฒนา Non-transferred Arc Plasma	23
17	แสดงการพัฒนา Transferred Arc Plasma	24
18	แสดงการพัฒนาคบพลาสม่าที่ใช้งานเป็นฮีทเตอร์	25
19	แสดงการใช้ประโยชน์ของอาร์คพลาสม่าในการเชื่อมรอยต่อเทอร์โมคัปเปิล	26
20	แสดงการใช้ประโยชน์ของพลาสม่าในการถลุงโลหะ	27
21	แสดงการเย็นตัวของโลหะที่ถลุงในเบ้ากระกราฟไฟท์	28
22	แสดงการใช้ประโยชน์ของอาร์คพลาสม่าในการหลอมโลหะ	29
23	แสดงตัวอย่างโลหะที่ได้จากการหลอม	30
24	แสดงการลึกของขั้วไฟฟ้าลบ เนื่องจากกระแสสูงเกินไป	36
25	แสดงผลของรังสีเหนือม่วง ที่มีต่อผิวหนังขณะปฏิบัติงาน	36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
รายชื่อแผนภาพ	ง
รายชื่อรูป	จ
บทที่ 1	
บทนำ	1
บทที่ 2	
การเกิดอาร์คพลาสมา	4
พลาสมาการ์	7
บทที่ 3	
การออกแบบและสร้างเตาอาร์คพลาสมา	11
ระบบควบคุมการทำงานของเตาอาร์คพลาสมา	13
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก	14
ต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง	16
ระบบระบายความร้อนและพลาสมาการ์	20
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	23
การประยุกต์ในงานโลหะกรรมพลาสมา	26
บทที่ 5	
วิจารณ์และสรุป	31
บรรณานุกรม	37

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ จิฬ วศ 15
เลขทะเบียน 001831
วัน เดือน ปี 13 มี.ค. 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

"สสาร" หมายถึง สิ่งที่มีตัวตนและต้องการที่อยู่ ในโลกและจักรวาลที่เราอาศัยอยู่นี้ จะพบสสารได้ 4 สถานะด้วยกัน คือ ของแข็ง(solid) ของเหลว(liquid) กาซ (gas) และพลาสม่า (plasma) นอกจากนี้ยังมีอีกสถานะหนึ่งซึ่งไม่ค่อยพูดถึงกันนัก คือ นิวคลีออนิค (nucleonic) ความแตกต่างของสสารในแต่ละสถานะนี้จะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานจลน์ของโมเลกุลหรืออะตอมของสสารนั้น พลังงานจลน์ที่กล่าวถึงนี้อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิหรือความต่างศักย์ทางไฟฟ้า หรือเกิดจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลหรืออะตอมของสสารนั้น ๆ ก็ได้ การเปลี่ยนแปลงหรือการดำรงอยู่ของสสารในแต่ละสถานะนั้นอาจแสดงให้เข้าใจได้ง่าย โดยเขียนให้อยู่ในรูปของสัญญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

		E	$<$	E_b	สสารจะอยู่ในสถานะ	ของแข็ง
E_b	$<$	E	$<$	E_v	"	ของเหลว
E_v	$<$	E	$<$	E_i	"	กาซ
E_i	$<$	E			"	พลาสม่า
E_i	$<<<$	E			"	นิวคลีออนิค

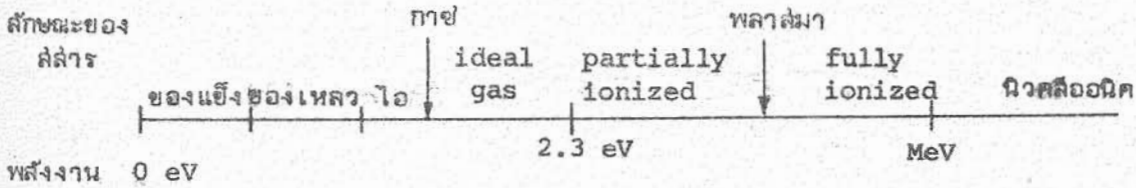
เมื่อ E คือ ระดับพลังงานจลน์ของโมเลกุลหรืออะตอมของสสารนั้น ๆ

E_b คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผลึก

E_v คือ แรง Vander Waals

E_i คือ ศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออน

หรืออาจแสดงให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างสถานะกับระดับพลังงานจลน์ของโมเลกุลหรืออะตอมของสสาร ดังในรูปที่ 1[1]



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สถานะ กับ ระดับพลังงานจลน์ของโมเลกุลหรืออะตอมของสสาร

จากสัญญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ และความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 1[1] จะเห็นได้ว่า สถานะของสสารที่เราพบเห็นกันอยู่บนพื้นโลกในชีวิตประจำวันนั้นมีอยู่ในช่วงพลังงานที่แคบมาก (0 จนถึง 2-3 eV) ในขณะที่พลาสมามีช่วงพลังงานจาก 2-3 eV ขึ้นไป จนถึงหน่วยเป็น MeV (fission fragment ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งมีพลังงานจลน์ประมาณ 100 keV (มีเลขอะตอมในช่วง 50-60)นั้น จะมีประจุประมาณ 20 เท่านั้น)[2] ทำให้เชื่อกันว่าในจักรวาลนี้ สสารจะอยู่ในสถานะของพลาสมามากที่สุด[1] ส่วนสถานะที่เป็นนิวคลีออนิคนั้น สามารถทำให้เกิดได้ง่ายเฉพาะธาตุที่มีเลขอะตอมน้อย ๆ เท่านั้น เช่น ในการควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาฟิวชันนั้น นิวไคลด์ของธาตุไฮโดรเจนจะอยู่ในสถานะของนิวคลีออนิค จึงจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ง่าย สำหรับธาตุที่มีเลขอะตอมสูงจะทำให้อยู่ในสถานะนิวคลีออนิคได้ยากมาก

ในการเปลี่ยนสถานะจากกาซเป็นพลาสมาได้นั้น จะเกิดขึ้นเมื่อกาซมีพลังงานของโมเลกุลหรืออะตอมสูงกว่าศักย์ในการแตกตัวเป็นไอออน (ionizing potential) ผลที่เกิดขึ้นก็คือกาซจะแตกตัว(ionize) ออกเป็นไอออนบวก และอิเลคตรอน ไอออนบวก อิเลคตรอน รวมทั้งโมเลกุลและอะตอมที่ยังเป็นอิสระที่รวมกันอยู่นี้ เราเรียกว่า"พลาสมา"พลาสมาที่เกิดขึ้นนี้เราแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. Partially ionized or weakly or cold plasma หมายถึง พลาสมาซึ่งเกิดจากกาซเพียงบางส่วนเกิดการแตกตัวเป็นไอออน เราจะได้ไอออนบวก อิเลคตรอน รวมทั้งโมเลกุลและอะตอมของกาซที่เป็นกลางปนกัน พลาสมาประเภทนี้มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก(อยู่ในช่วง 10^3 - 10^4 K) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับโลหะสารเคมีและในอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ซึ่งในการวิจัยนี้จะเน้นเฉพาะประโยชน์ของพลาสมาประเภทนี้ในด้านโลหกรรมพลาสมา (Plasma Metallurgy)

2. Completely or Fully ionized plasma หมายถึงพลาสมาที่เกิดจากกาซเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวก และอิเลคตรอนจนหมด จะต้องใช้พลังงานและอุณหภูมิสูงมากในการควบคุมให้เกิดขึ้น พลาสมาประเภทนี้ในปัจจุบันเราใช้ในการศึกษาและการควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาฟิวชัน เพื่อใช้ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบฟิวชัน สำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักที่สำคัญในอนาคตแทนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบฟิสชันที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

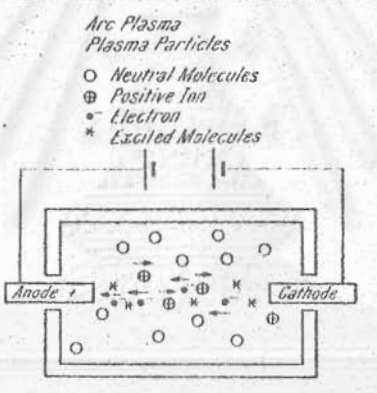
ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

จากเอกสาร สิ่งพิมพ์ ผลงานทางวิชาการต่าง ๆ และในหนังสือเรียนที่กล่าวถึงการนำพลาสมาไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัย และในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะ เช่น การถลุง การหล่อหลอม การเคลือบผิว-ฉาบผิว การเชื่อมและการตัดโลหะ ฯลฯ โดยใช้อาร์คพลาสมา ซึ่งเรียกว่า โลหกรรมพลาสมา รวมทั้งจากผลงานวิจัยของผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช และอาจารย์ สุวิทย์ บุณยัยยะ เรื่อง"การพัฒนาอาร์ค-พลาสมา"[3] และได้พัฒนา pilot arc plasma ขนาดกำลังไฟฟ้าประมาณ 1.5 กิโลวัตต์(kW) เสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น เนื่องจาก pilot arc plasma ที่พัฒนาขึ้นมามีขนาดกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ใช้งานได้ในขอบเขตจำกัดเกินกว่าที่จะนำมาศึกษาวิจัยและใช้ประโยชน์ในระดับห้องทดลอง (Lab scale) ได้ การวิจัยนี้จึงเน้นถึงการพัฒนา pilot arc plasma ที่ได้ให้มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น เพื่อสร้างเป็นเตาอาร์คพลาสมาสำหรับใช้ในห้องทดลอง มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 20 kW และสามารถดัดแปลงแก้ไขให้ใช้งานได้หลายประเภท โดยอาศัยวัสดุต่าง ๆ ที่สามารถจัดซื้อและหาได้ในประเทศ และศึกษาการใช้ประโยชน์ของเตาอาร์คพลาสมาที่สร้างขึ้นนี้ในงานด้านโลหกรรมพลาสมา เช่น ใช้หล่อหลอมโลหะต่าง ๆ สำหรับศึกษาทางโลหวิทยาสำหรับตัวอย่างจำนวนน้อย ๆ ศึกษาการออกแบบพลาสมาฮีทเตอร์(plasma heater) การเชื่อมรอยต่อเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple junction welding) ศึกษาการเปลี่ยนระบบจาก non-transferred arc เป็น transferred arc ส่วนการศึกษาเรื่องการถลุงโลหะ เช่น การถลุงเหล็กฟองน้ำหรือโลหะอื่น ๆ และการเตรียม (ถลุง)ferro-alloys หรือ master alloys นั้นจะศึกษาเป็นขั้นตอนต่อไปถ้ามีเวลาพอเพียง จากประสบการณ์และข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองนี้ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบสร้างเตาอาร์คพลาสมาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยของภาควิชาหรือหน่วยงานต่าง ๆ ในกรณีที่ต้องการสร้างขึ้นเองจากครุภัณฑ์และวัสดุที่มีอยู่แล้วบางส่วน หรือดัดแปลงสำหรับโรงงานตัวอย่าง (pilot plant) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะโดยตรงในอนาคต

บทที่ 2

การเกิดอาร์คพลาสมา

พลาสมาเป็นสถานะที่สี่ของสสาร เป็นกลุ่มกาซที่ประกอบด้วยอิเลคตรอนอิสระ ไอออนประจุบวก อะตอมและโมเลกุลที่เป็นกลางอยู่รวมกัน มีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งเป็นผลจากอันตรกิริยาระหว่างแรงแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงกลประสมประสานกัน พลาสมาจะเกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายเทพลังงานให้กาซ เป็นผลให้กาซเกิดการแยกตัวและแตกตัวเป็นไอออนขั้นบางส่วน พลาสมาที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถรักษาสภาพให้ดำเนินต่อไปได้ที่อุณหภูมิ 20,000 องศาเคลวิน ขึ้นไป



รูปที่ 2 แสดงการเกิดพลาสมาในภาชนะปิด

ในรูปที่ 2 จะแสดงการเกิดอาร์คพลาสมาในภาชนะปิด ประกอบด้วยภาชนะปิดมีพลาสมากาซบรรจุอยู่ภายใน และมีขั้วไฟฟ้าซึ่งมีความต่างศักย์ป้อนอยู่ อยู่ที่ปลายทั้งสองด้าน

จากรูป อิเลคตรอนที่เกิดขึ้นจากขั้วไฟฟ้าลบ (cathode) ในขณะที่วิ่งผ่านพลาสมากาซไปยังขั้วไฟฟ้าบวก (anode) จะชนกับอะตอมและโมเลกุลต่าง ๆ ในกาซ เกิดการถ่ายเทพลังงานเป็นผลให้เกิดการแยกตัวและการแตกตัวเป็นไอออน หรือการแทนที่ของอิเลคตรอนในวงโคจรรอบอะตอม หรือทำให้พลังงานจลน์ของอะตอมหรือโมเลกุลเพิ่มขึ้น อิเลคตรอนที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกเร่งให้วิ่งไปยังขั้วไฟฟ้าบวกเช่นกัน เป็นผลให้เกิดการชนกัน การถ่ายเทพลังงาน และเกิดเป็นไอออนเพิ่มขึ้นอีกเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป กาซจะอยู่ในสภาพที่เป็นตัวนำไฟฟ้า สามารถนำไฟฟ้าได้ในรูปของการ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกิดสปาร์คขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าในช่วงแรก และเกิดอาร์คหลักในช่วงเวลาต่อมา ปริมาณของกระแสไฟฟ้าเป็นจำนวนมากจะไหลผ่านกาซ ทำให้อิเลคตรอนอิสระและถ่ายเทพลังงานให้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้มากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลให้อุณหภูมิของกาซสูงขึ้นอีกเป็นพลาสมาที่ร้อนจัด เราสามารถทำให้อิเลคตรอนมีอุณหภูมิสูง (พลังงานจลน์สูง) ได้ง่าย (สำหรับอิเลคตรอน ความต่างศักย์ 1 โวลต์ จะสมมูลกับอุณหภูมิประมาณ 10,000 องศาเคลวิน)[1] แต่การทำให้อุณหภูมิ (พลังงานจลน์) ของอนุภาคในกาซมีค่าใกล้เคียงกับอิเลคตรอนนั้นทำได้ยาก เนื่องจากอนุภาคในกาซมีมวลสูงกว่าเป็นผลให้ต้องถูกชนมากครั้งกว่าจึงจะเกิดได้ การเพิ่มระดับพลังงานจลน์ของอนุภาคในกาซให้สูงขึ้น ทำโดยเพิ่มความดันของกาซให้สูงขึ้นเพื่อให้อนุภาคต่าง ๆ ในกาซนั้นมีพลังงานจลน์อยู่ในช่วงเดียวกับอิเลคตรอน เป็นผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพที่ค่าพลังงานไฟฟ้าค่าหนึ่ง ๆ ที่ป้อนให้ อุณหภูมิของพลาสมาที่ได้จะอยู่ในช่วง 7000-10000 องศาเคลวิน โดยที่อุณหภูมิของอิเลคตรอนจะอยู่ในช่วง 100,000 องศาเคลวิน และอนุภาคอื่น ๆ (ไอออนประจุบวก อะตอม และโมเลกุลของกาซ) จะมีอุณหภูมิในช่วง 10,000 องศาเคลวิน[4]

ในการรักษาเสถียรภาพของพลาสมาให้คงอยู่ได้นั้นจะต้องมีพลังงานป้อนเข้าไปชดเชยพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการแผ่รังสี (infrared, visible light, ultra violet) และช่วยในการนำไฟฟ้าให้ยังคงเกิดอยู่ในระดับเดิมตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วไฟฟ้าจะมีผลให้แรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยแรงดันตกคร่อมจะลดลงในขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น จนในที่สุดจะถึงสภาวะที่พลาสมาเกิดเสถียรภาพที่กระแสไฟฟ้าสูง และแรงดันตกคร่อมต่ำที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง ๆ

แม้ว่าพลาสมาในภาชนะปิดที่ควบคุมให้อยู่ในกาซที่มีความดันสูงจะเกิดได้ง่ายก็ตาม แต่เนื่องจากประโยชน์การใช้งานมีขอบเขตจำกัด จึงมีการออกแบบเป็นภาชนะรูปทรงกระบอกขนาดเล็กที่ทำด้วยแก้วหรือโลหะ ปลายด้านหนึ่งจะมีขั้วไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแท่งเสียบทะลุเข้าไปในภาชนะนั้น และขั้วไฟฟ้าซึ่งอยู่อีกปลายหนึ่งจะมีรู (orifice) เจาะไว้เพื่อให้สำพลาสมาพุ่งออกไปใช้ประโยชน์ได้ ที่ผนังของภาชนะจะมีน้ำหรือกาซไหลผ่านด้านนอกเพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบางส่วน และมีพลาสมากาซพุ่ง (ไหล) เข้าไปภายในภาชนะด้วยความดันสูง ลักษณะเป็นม่านคั่นอยู่ระหว่างผนังของภาชนะและอาร์คที่เกิดขึ้นภายใน เนื่องจากผิวด้านนอกของภาชนะมีการระบายความร้อน บริเวณด้านนอกของสำพลาสมาจะเป็นตัวกว่าภายในและแตกตัวเป็นไอออนน้อยลง มีการนำไฟฟ้าต่ำ ทำให้บริเวณใจกลางของสำพลาสมามีความเข้ม (ความหนาแน่น) ของ

กระแสไฟฟ้าสูง อุณหภูมิและการนำไฟฟ้าของพลาสมาจะมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งเราเรียกการเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า "thermal pinch effect" เมื่อสารพลาสมาพุ่งผ่านรูที่เจาะไว้สู่ภายนอกจะถ่ายเทพลังงานจลน์สู่สภาวะรอบ ๆ นั้นในรูปของความร้อน (โดยการนำ) และการแผ่รังสีซึ่งรังสีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการที่อิเลคตรอนวิ่งชนกัน พลังงานจลน์นี้จะรวมถึงการเคลื่อนตัวของพลาสมา ซึ่งจะมีการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อน นอกจากนี้ยังมีพลังงานที่ได้จากการที่ไอออนจับกับอิเลคตรอนกลายเป็นอะตอมและอะตอมของกาซไดอะตอมมิคจับกันเป็นโมเลกุลอีกด้วย

<u>วัสดุที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมา</u>

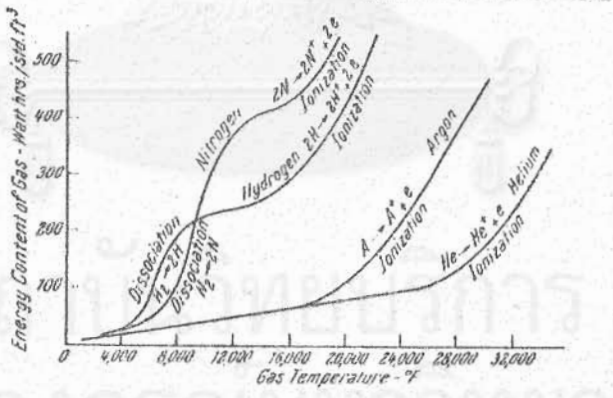
วัสดุที่นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมามี 3 ชนิด คือ ทังสเตน ทองแดง และกราฟไฟท์ ตามปกติจะใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก ทังสเตนที่ใช้จะเป็นโลหะทังสเตนบริสุทธิ์ หรือจะมีธอเรียม(thoria) หรือเซอร์โคเนีย(Zirconia) ปนอยู่ก็ได้ เหตุที่นิยมใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้า เพราะทังสเตนมีคุณสมบัติให้อิเลคตรอนได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (thermionic emission) และมีจุดหลอมตัวสูง ส่วนทองแดงนั้นนิยมใช้เนื่องจากนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือ มีจุดหลอมตัวต่ำ (1083°ซ) การใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีการระบายความร้อนให้พอเพียง หรือมีกลไกมาหมุนตรงบริเวณที่รอรับอาร์คเพื่อกระจายความร้อนมิให้ได้รับมากเกินไปจนเกิดหลอมละลายได้ ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงนักอาร์คกาซที่ใช้จะระบายความร้อนได้พอเพียงอยู่แล้ว กราฟไฟท์นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าเนื่องจากนำไฟฟ้าได้ดี แต่งรูปเป็นเบ้าได้ละดวก แต่มีข้อเสียคือที่อุณหภูมิสูงกราฟไฟท์จะกลายเป็นไอได้ง่าย ในการใช้งานจะต้องมีการระบายความร้อนจากขั้วไฟฟ้าหรือหมุนขั้วไฟฟ้าตลอดเวลา และจะมีไอของกราฟไฟท์ปน(contaminate) อยู่ในสารพลาสมาเสมอ

การออกแบบลักษณะขั้วไฟฟ้ามีความสำคัญมากในการใช้งานต้นกำเนิดพลาสมา เนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดอาร์คไม่ทั่วถึง เป็นผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นไม่มีเสถียรภาพ โดยปกติจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง และอีกด้านหนึ่งเป็นวงแหวนหรือรูปทรงกระบอก พลาสมากาซจะผ่านเข้ามารอบ ๆ ขั้วไฟฟ้าผ่านอาร์คแล้วพุ่งผ่านรูของขั้วไฟฟ้าที่เจาะไว้ออกไปด้านนอก หรือผ่านอาร์คในบริเวณที่มีช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง (gap) น้อยที่สุดในกรณีที่ขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งเป็นรูปวงแหวนหรือรูปทรงกระบอกตามลำดับ คบพลาสมา

ทั่วไปจะใช้แท่งทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และใช้ทรงกระบอกหรือวงแหวนทำด้วยทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก แท่งกราฟไฟท์ถ้าใช้เป็นขั้วไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกเสมอ ในบางกรณีจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปวงแหวนที่มีแนวจุดศูนย์กลางร่วมกัน หรือมีลักษณะเป็นวงแหวนที่ขนานกันก็ได้

<u>พลาสมากาซ</u>

พลาสมากาซที่ใช้ในตันกำเนิดอาร์คพลาสมาจะทำหน้าที่ห่อหุ้มขั้วไฟฟ้าพร้อมกับพาความร้อนที่ได้จากพลาสมาไปใช้ประโยชน์และในขณะเดียวกันจะรักษาสภาพของพลาสมาให้อยู่สภาวะสมดุลย์(มีเสถียรภาพ) ด้วย ในการเลือกพลาสมากาซจะพิจารณาถึง energy content ของกาซ ความไวในการเกิดปฏิกิริยา (reactivity) และราคาของกาซเป็นหลัก พลาสมากาซที่นิยมใช้กันทั่วไปมีไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) ฮีเลียม (He) อาร์กอน (Ar) และอากาศ (air) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า energy content ของกาซกับอุณหภูมิของพลาสมาของพลาสมากาซจะแสดงในรูปที่ 3

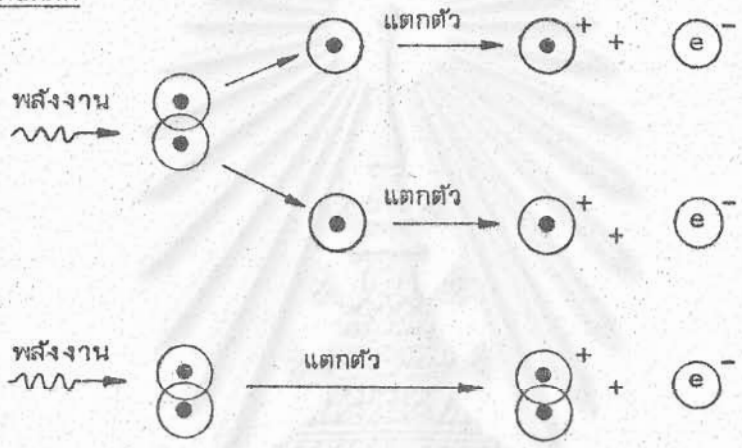


รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง energy content ของพลาสมากาซกับอุณหภูมิของพลาสมาที่ความดันปกติ

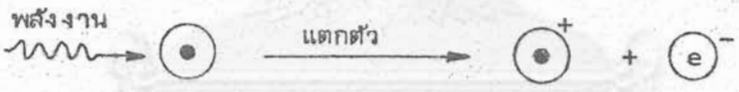
จากรูปจะพบว่าค่า energy content ในการเกิดพลาสมาของกาซไนโตรเจนและไฮโดรเจนมีค่าสูงกว่าของกาซอาร์กอนและฮีเลียม เนื่องจากกาซไนโตรเจนและไฮโดรเจนเป็นกาซไดอะตอมมิค (หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยสองอะตอม) จึงมีการดูดกลืนพลังงานเพื่อใช้ในการ

แยกตัวเปลี่ยนจากโมเลกุลเป็นอะตอมและดูดกลืนพลังงานเพิ่มขึ้นอีกเพื่อแตกตัวเกิดเป็นไอออน หรือโมเลกุลของกาซไดอะตอมมิคอาจจะแตกตัวเป็นไอออนกับอิเลคตรอนเลย ซึ่งจะทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นมีค่า energy content สูงกว่ากาซอาร์กอน และฮีเลียมที่เป็นกาซเฉื่อยและอยู่ในสภาพเป็นอะตอมโดยปกติอยู่แล้ว และจะมีการดูดกลืนพลังงานเพื่อแตกตัวเกิดเป็นไอออนเพียงขั้นตอนเดียว ดูรูปจากรูปที่ 4 ประกอบ

ก. <u>กาซไดอะตอมมิค</u>



ข. <u>กาซเฉื่อย</u>

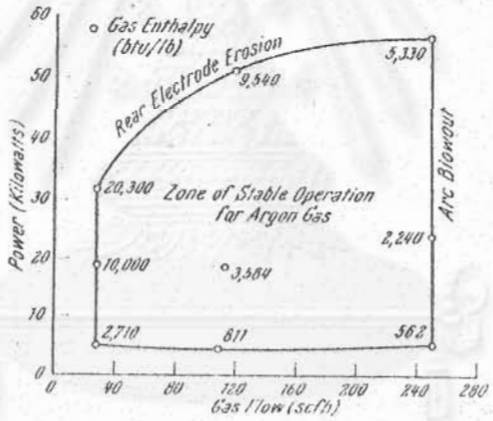


รูปที่ 4 แสดงการเกิดพลาสมาของกาซไดอะตอมมิค และกาซเฉื่อย

กาซไนโตรเจนเป็นกาซที่หาได้ง่ายมีราคาถูก และมีค่า internal energy สูง จึงนิยมใช้เป็นอาร์คกาซมากที่สุด ในเวลาที่ใช้จะผสมกับกาซไฮโดรเจนประมาณ 10% เพื่อเพิ่มค่า heat content และคุณสมบัติในการส่งผ่านความร้อนให้สูงขึ้น ในขณะเดียวกันกาซไฮโดรเจนที่ผสมลงไปนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ในพลาสมาด้วย ข้อเสียของการใช้กาซไนโตรเจนก็คือ ไนโตรเจนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับวัสดุที่รับความร้อนจากอาร์คพลาสมาเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ขึ้น ทำให้ขอบเขตของการใช้กาซไนโตรเจนเป็นพลาสมากาซในงานต่าง ๆ ลดลง ในกรณีที่ต้องการควบคุมบรรยากาศของอาร์คพลาสมาให้เป็นกาซเฉื่อยอย่างสมบูรณ์จะใช้อาร์กอนเป็นพลาสมากาซ อากาศสามารถใช้เป็นพลาสมากาซได้ แต่การใช้งานจะมีขอบเขตจำกัดมาก เนื่องจากจะเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า

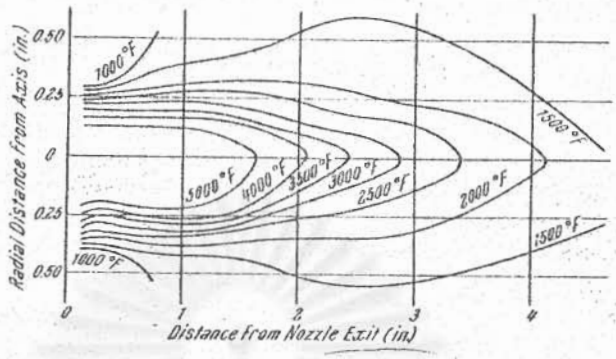
ทั้งล่องช้าอย่างรวดเร็ว

การควบคุมอัตราการไหลของพลาส่มากาซให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าของอาร์คพลาส่มาเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก โดยจะต้องควบคุมอย่างระมัดระวังในขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านอาร์คเพื่อไม่ให้อาร์คดับหรือเกิด thermal pinch effect ไม่พอที่จะบีบลำอาร์คพลาส่มาวิ่งผ่านรู (nozzle) ที่เจาะไว้ได้ การปรับอัตราการไหลของพลาส่มากาซ ไม่เหมาะสมอาจทำให้คบพลาส่มาที่ใช้เสียหายมาก การปรับอัตราการไหลของพลาส่มากาซให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าของอาร์คพลาส่มาที่ใช้จะทำให้อาร์คที่เกิดขึ้นมาเสถียรภาพและใช้งานได้ดี ในช่วงของการใช้งาน ซึ่งเราเรียกว่า "envelope" ช่วง envelope สำหรับพลาส่มากาซแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน เช่น กาซอาร์กอนจะมีช่วง envelope ดังในรูปที่ 5

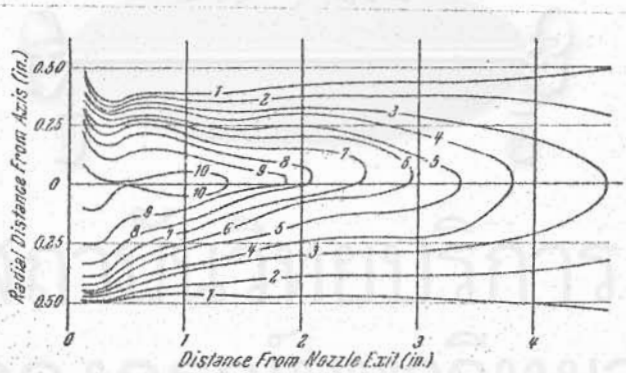


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และกำลังไฟฟ้า (arc power) เมื่อใช้อาร์กอนเป็นอาร์คพลาส่มา

รูปที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นถึงการกระจายของอุณหภูมิ (temperature distribution) และการกระจายของ velocity pressure ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาส่มา (arc plasma discharge) ขนาด 18 กิโลวัตต์



รูปที่ 6 แสดงการกระจายของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา



รูปที่ 7 แสดงการกระจายของ velocity pressure ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา

บทที่ 3

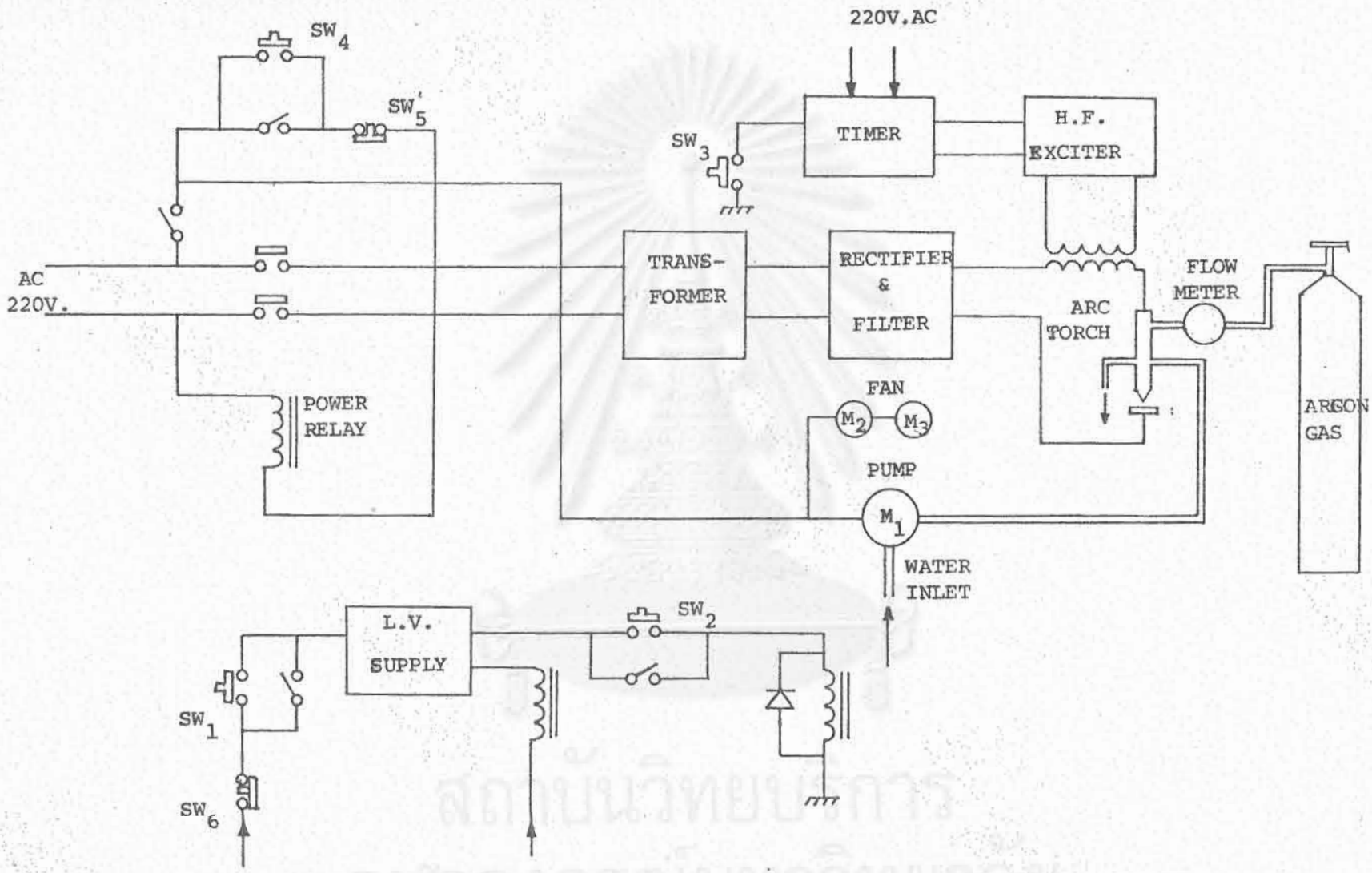
การออกแบบและสร้างเตาอาร์คพลาสมา

เตาอาร์คพลาสมาที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการนี้ วัสดุทุกชิ้นสามารถจัดหาได้ภายในประเทศ โดยมีการดัดแปลงให้เหมาะสมและสร้างในสภาพที่ใช้งานได้สะดวก ส่วนประกอบหลักของเตาอาร์คพลาสมาที่สร้างขึ้นมีดังนี้

1. ระบบควบคุมการทำงานของเตาอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Furnace Control System)
2. แหล่งจ่ายกำลังไฟหลัก (Main Power Supply)
3. ต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง (High Voltage-High Frequency Exciter)
4. คบพลาสมา (Plasma Torch)
5. ระบบระบายความร้อนและพลาสมาก๊าซ (Cooling System and Plasma Gas)

ส่วนประกอบหลักดังกล่าวที่สร้างขึ้น มีลักษณะการทำงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 (แสดงอยู่ในหน้าถัดไป) โดยเริ่มจาก

- กดสวิทช์หมายเลขหนึ่งเพื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าศักดาต่ำเลี้ยงส่วนควบคุมอื่น ๆ
- กดสวิทช์หมายเลขสองเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำและพัดลมในระบบระบายความร้อน
- เปิดวาล์วให้พลาสมาก๊าซไหลผ่านคบพลาสมา ก่อนที่จะกดสวิทช์หมายเลขสาม ซึ่งตั้งเวลาการทำงานของต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง เพื่อเหนี่ยวนำให้พลาสมาก๊าซเกิดแตกตัวเป็นไอออนและมีสปาร์คเกิดขึ้น
- อาร์คพลาสมาจะเกิดขึ้นโดยการควบคุมสวิทช์หมายเลขสี่ อาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานตามต้องการโดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลของพลาสมาก๊าซให้เหมาะสม



แผนภาพที่ 1 แสดงระบบการทำงานของเตาอาร์คพลาสมาที่พัฒนาขึ้น

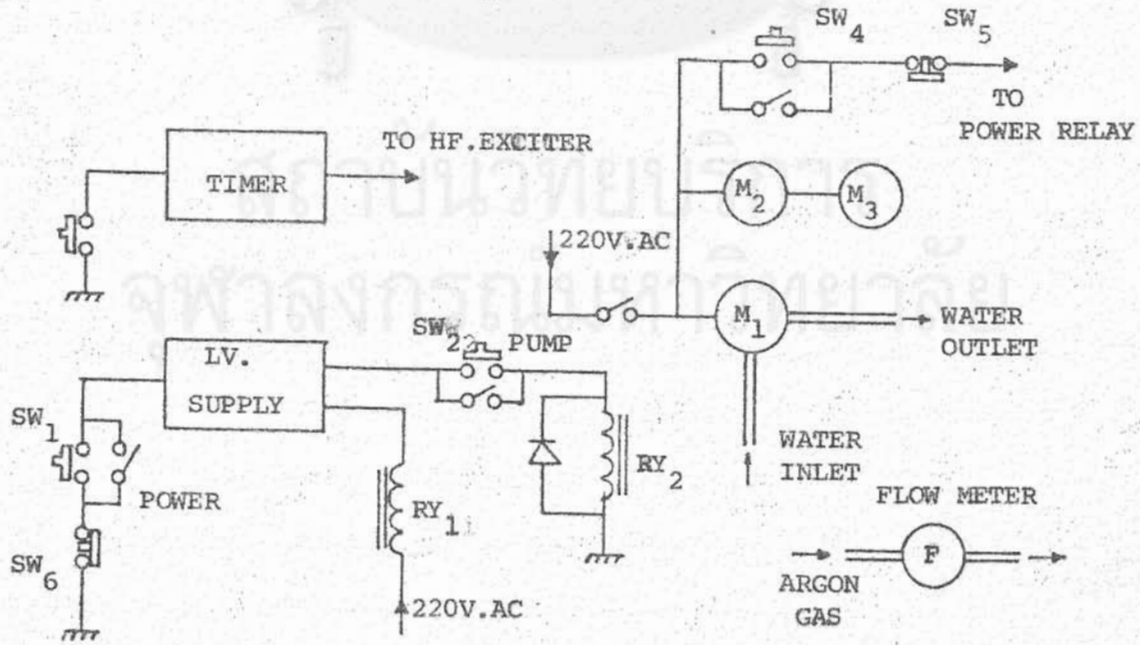
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เมื่อการใช้งานสิ้นสุดลง จะกดสวิทช์หมายเลขห้า เพื่อตัดแหล่งจ่ายไฟหลัก เป็นการดับอาร์คพลาสมา แต่เครื่องสูบน้ำและพัดลมจะทำงานเพื่อระบายความร้อนที่มีอยู่ต่อไป
- ปิดวาล์วให้พลาสมากาซหยุดไหลและกดสวิทช์หมายเลขหก เพื่อตัดแหล่งจ่ายไฟที่เข้าสู่เตาอาร์คพลาสมาทั้งหมด (เครื่องสูบน้ำและพัดลมหยุดทำงาน)

ขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจะเป็นไปตามลำดับ ไม่สามารถข้ามขั้นตอนได้เนื่องจากใช้ระบบควบคุมทางอิเลคทรอนิคส์และรีเลย์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่ใช้งาน รายละเอียดของส่วนประกอบหลักมีดังนี้

ระบบควบคุมการทำงานของเตาอาร์คพลาสมา

ทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานอย่างต่อเนื่องของสวิทช์สั่งงานบนหน้าปัด ตั้งแต่สวิทช์หมายเลขหนึ่งถึงสวิทช์หมายเลขหก ซึ่งเกี่ยวข้องกับ ไฟฟ้าที่จ่ายไปยังส่วนต่าง ๆ ในระบบระบายความร้อน อัตราการไหลของพลาสมากาซซึ่งควบคุมด้วย flowmeter(F_1) การตั้งเวลาการทำงานของต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งจะทำงานนานประมาณ 5-10 วินาที เพื่อให้พลาสมากาซแตกตัวเป็นไอออนเกิดสปาร์คขึ้น รวมทั้งการเปิดอาร์คหลักเกิดเป็นอาร์คพลาสมา วงจรการทำงานจะแสดงในแผนภาพที่ 2



แผนภาพรูปที่ 2 แสดงระบบควบคุมของเตาอาร์คพลาสมา

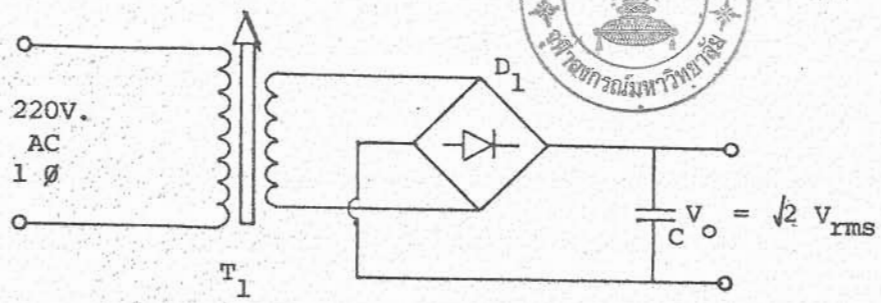
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก

ออกแบบให้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ต่ำกว่า 20 กิโลวัตต์เมื่อเกิดอาร์คพลาสมาและใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด ใช้กับไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูงตลอดเวลาในขณะที่ใช้งานจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนกระแสสลับในระบบจ่ายกำลังไฟหลักให้เป็นกระแสตรงซึ่งประกอบด้วย

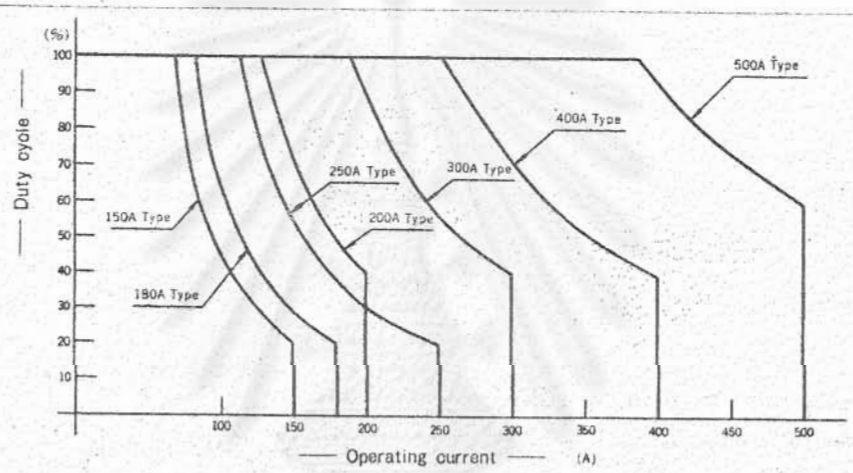
- เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับขนาดกำลังไฟฟ้า 13 กิโลวัตต์ จำนวนสองหน่วย เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก และสามารถดัดแปลงเพื่อนำกลับไปใช้ในงานเชื่อมโลหะทั่วไปได้ด้วย
- วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridged Rectifier) ประกอบด้วยซิลิคอนไดโอด เรคติไฟเออร์ 4 ตัว ต่อเป็นวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแต่ละหน่วย เพื่อเปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง สามารถใช้งานแยกกัน หรือร่วมกันก็ได้ โดยขึ้นกับความต้องการและจุดประสงค์ของการใช้งาน
- ชุดกรองกระแส (Filter) ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ต่อขนานกับวงจรเรียงกระแสแต่ละหน่วย ทำหน้าที่ลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละหน่วยจะมีวงจรไฟฟ้าดังแผนภาพที่ 3 จากรูปจะพบว่าแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 220 โวลต์ จะถูกป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า-กระแสสลับ (T_1) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันต่ำทางขดทุติยภูมิ มีแรงดันวงจรเปิด (Open circuit voltage) 80 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสในช่วง 45-300 แอมแปร์ มีค่า duty cycle 40% ที่ค่ากระแส 300 แอมแปร์ ดังรูปที่ 8 ไฟฟ้าแรงดันต่ำกระแสสลับที่ได้ (รูป 9.ก) จะต่อเข้ากับวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (D_1) ซึ่งประกอบด้วยซิลิคอน ไดโอด 4 ตัว เพื่อให้กระแสยาออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง มีลักษณะเต็มคลื่น และมีแรงดัน V_{rms} โวลต์ (รูป 9.ข) เนื่องจากในช่วงของส่วนที่แรงดันตกลงสู่ 0 โวลต์จะทำให้อาร์คไม่สามารถรักษาสภาพอยู่ได้ จึงต้องต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับวงจรเพื่อทำหน้าที่ยืดเวลาไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ให้มีค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ และทำให้แรงดันเพิ่มสูงขึ้นเป็น $\sqrt{2}\, V_{rms}$ โวลต์ (รูป 9.ค) เป็นผลให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นและสามารถดึงอาร์คที่เกิดยืนยาวกว่าเดิม

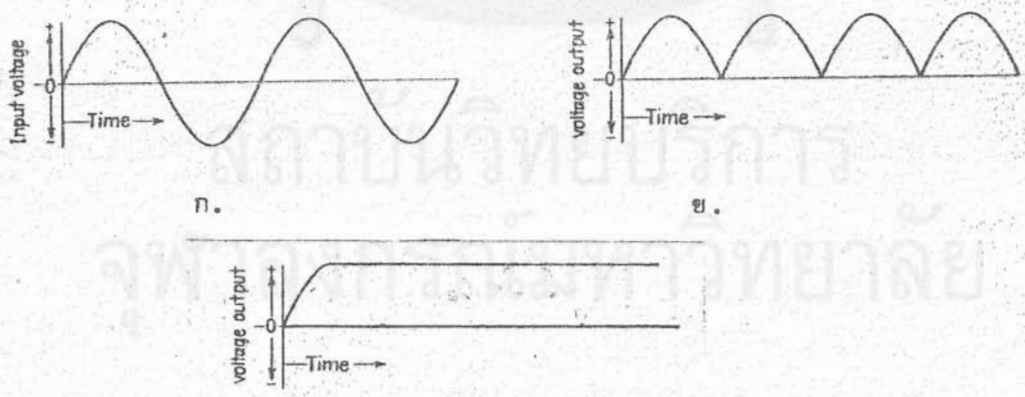
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภาพที่ 3 วงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง duty cycle กับกระแสที่ใช้งาน



รูปที่ 9 (ก) แสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ปรับ

(ข) แสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรเรียงกระแส

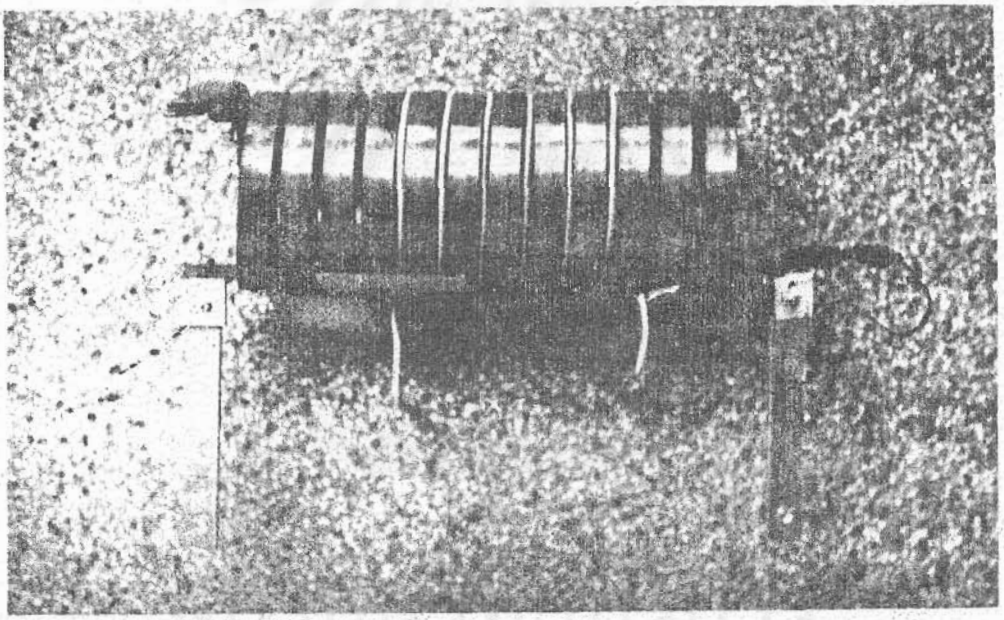
(ค) แสดงลักษณะแรงดันไฟฟ้าหลังผ่านวงจรกรองกระแส

017534

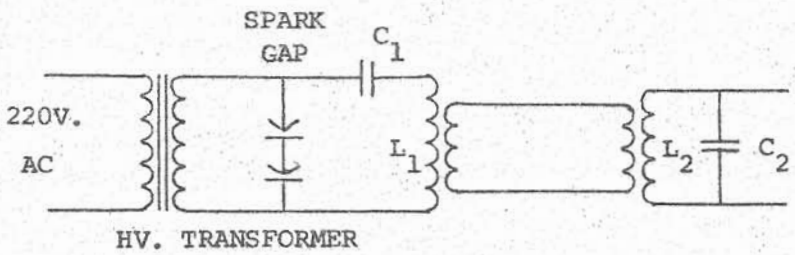
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง

ออกแบบให้ใช้งานในช่วงความถี่ 3 เมกะเฮิรทซ์ มีแรงดัน 5 กิโลโวลต์ ใช้หลักการเรโซแนนซ์ความถี่ของขดลวดเหนี่ยวนำ (L_1) และคาปาซิเตอร์ (C_1) จากการอาร์คของศักดาไฟฟ้าสูงที่สปารค์แกป (spark gap) และคัปปลิง (coupling) ความถี่สูงที่เกิดขึ้นออกมาใช้งาน โดยใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์คัปปลิงมายังวงจรจ่ายกำลังไฟหลัก (main supply) ด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ (L_2) และคาปาซิเตอร์ (C_2) ซึ่งต่อเป็นวงจรแทงค์ (tank circuit) ดังแผนภาพที่ 4 ขดลวดเหนี่ยวนำ (L_2) จะมีลักษณะพิเศษคือ จะต้องทนกระแสไฟฟ้าสูงที่ไหลผ่านในวงจรจ่ายกำลังไฟหลักได้ด้วย (เป็น high current coil) ดังรูปที่ 10



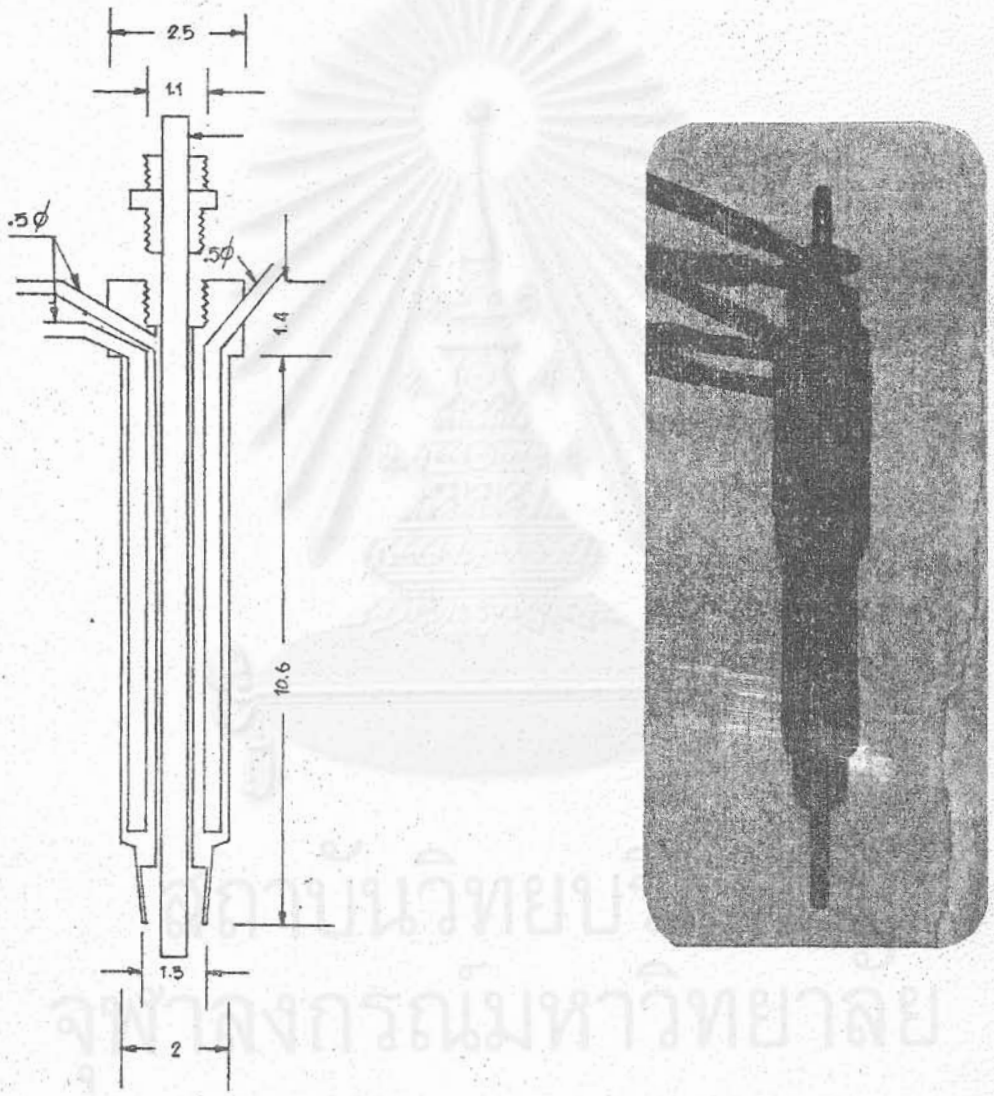
รูปที่ 10 แสดงลักษณะของขดลวดเหนี่ยวนำ (L_2) ซึ่งจะต้องทนต่อกระแสไฟสูงได้



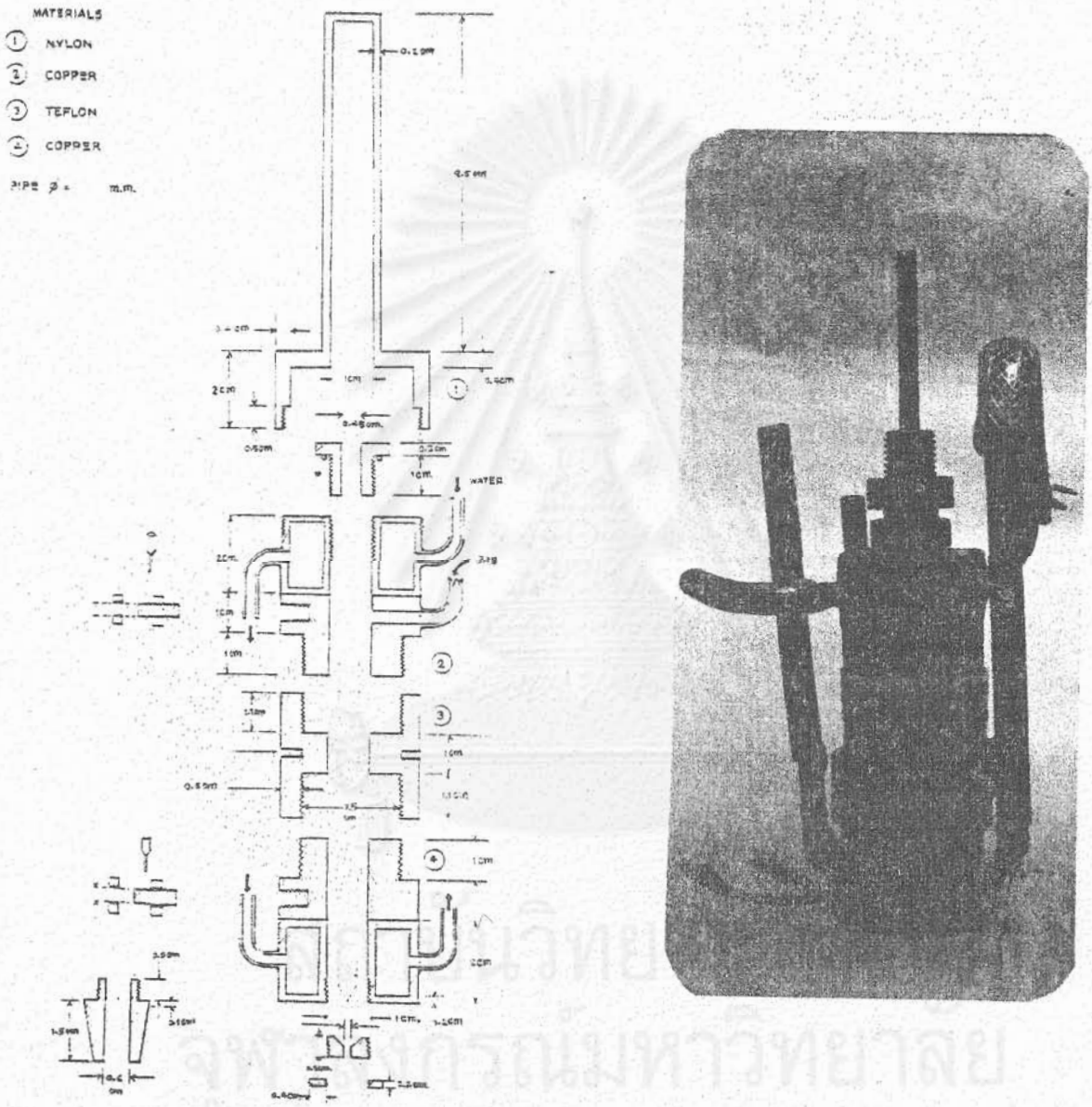
แผนภาพที่ 4 วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูง ความถี่สูง

<u>คบพลาสมา</u>

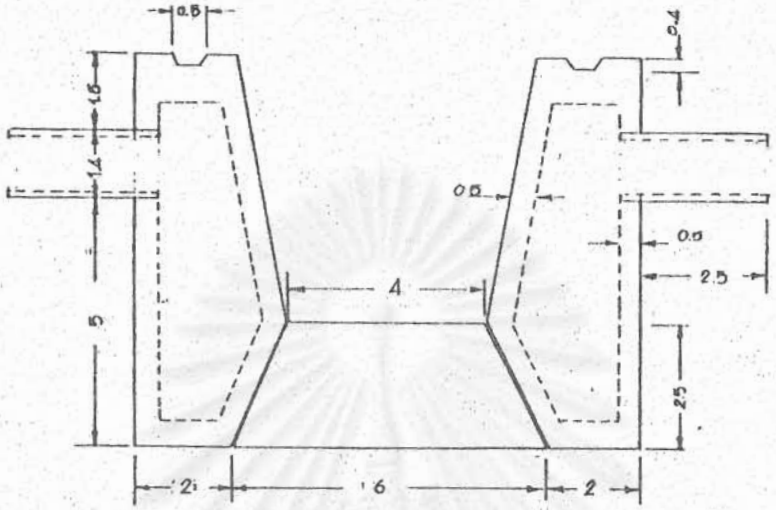
ลักษณะ ขนาด และรายละเอียดของคบพลาสมา เบ้าหลอมโลหะ ที่ออกแบบในการใช้งานจะมีลักษณะดังรูปที่ 11, 12 และ 13 ตามลำดับ

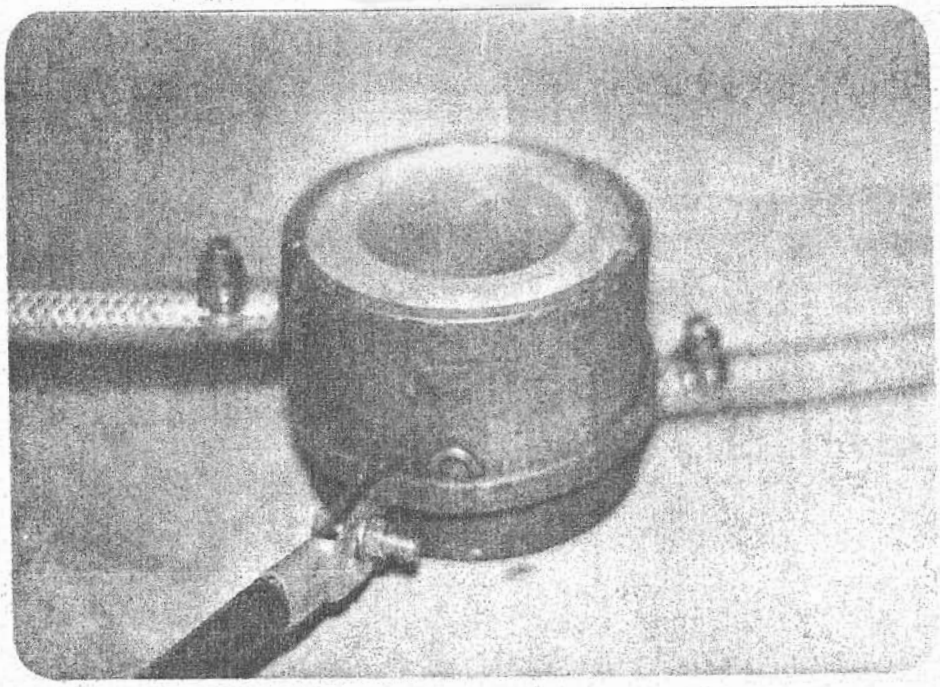


รูปที่ 11 แสดงรายละเอียดของคบพลาสมาสำหรับใช้ในการหลอมโลหะ และของจริงที่สร้างขึ้น



รูปที่ 12 แสดงรายละเอียดของคบพลาสมาที่ใช้งานเป็นฮีทเตอร์ และของจริงที่สร้างขึ้น





รูปที่ 13 แสดงรายละเอียดของเบ้าสำหรับหลอมโลหะ และของจริง ที่สร้างขึ้น

การเลือกใช้วัสดุในการสร้างคบพลาสมา และเบ้าหลอมโลหะในการวิจัยนี้ จะอาศัยคุณสมบัติด้านการนำความร้อนและไฟฟ้า ความสะดวกในการขึ้นรูป และความสะดวกในการจัดหาวัสดุเป็นหลัก วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้จะมี 5 ประเภทคือ

- แท่งโลหะทังสเตน ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าลบ
- ทองแดงและทองเหลือง ใช้สร้างคบพลาสมา เบ้าสำหรับหลอมโลหะ และใช้เป็นขั้วไฟฟ้า
- กราฟไฟท์ ใช้ทำเบ้าสำหรับหลอมโลหะ และเป็นขั้วไฟฟ้าบวก
- เทฟลอนและพลาสติกบางชนิดใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างคบพลาสมาที่ต้องการให้เป็นฉนวนไฟฟ้า และทนความร้อนไม่มากนัก
- Vycor และเซรามิค ใช้คลุมพลาสมาภายในช่วงที่เกิดอาร์ค

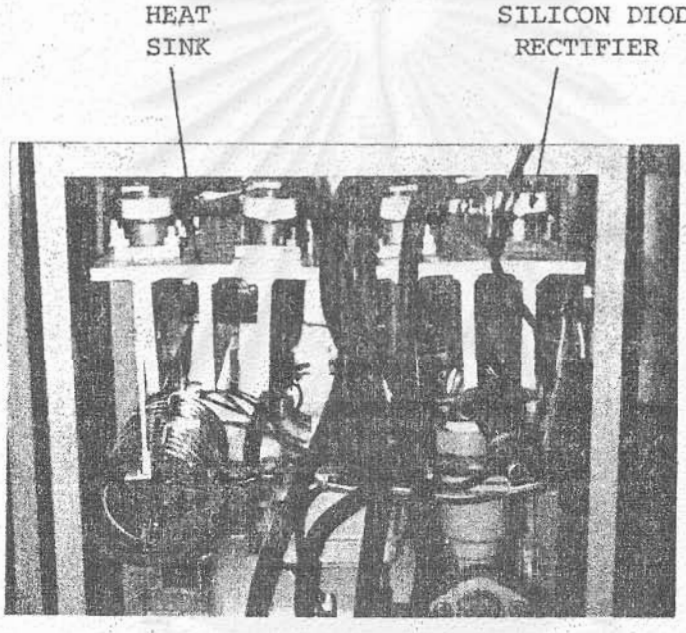
ระบบระบายความร้อนและพลาสมาภาย

การระบายความร้อนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานอยู่ หรือใช้เสร็จใหม่ ๆ ก็ตามเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อรักษาอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นให้มีอายุการใช้งานยืนยาวและหลีกเลี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะที่ใช้งาน ภายในเตาอาร์คพลาสมามีส่วนประกอบที่จำเป็นต้องระบายความร้อนอยู่ 3 ส่วน คือ

- คบพลาสมา ใช้น้ำและพลาสมาภายในเป็นตัวระบายความร้อน
- วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อน (โดยใช้พัดลม)
- เบ้าสำหรับหลอมโลหะ ใช้น้ำและอากาศเป็นตัวระบายความร้อน ในกรณีของโลหะและกราฟไฟท์ ตามลำดับ

การระบายความร้อนโดยใช้น้ำ จะใช้เครื่องสูบน้ำขนาดกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์เฟสเดียว ขนาดท่อเข้า และท่อออกเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มม. มีอัตราการไหล 36 ลิตรต่อนาที ที่ความสูง 12 เมตร จากระดับเครื่องสูบน้ำ ที่ท่อออกจะใช้หัวฉีดตีบเพลิงยาว 1 ฟุต ต่อไว้เพื่อลดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อให้เหลือเพียง 12.7 มม. ซึ่งออกแบบไว้ใช้กับเบ้าสำหรับหลอมโลหะได้โดยตรง การถ่ายเทของน้ำเป็นแบบวงจรปิด (closed loop) มีแทงค์น้ำขนาดใหญ่สองแท้ง ๆ ละ 2 ลบ.ม. เป็นถังพักเพื่อความประหยัด และไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำอีก

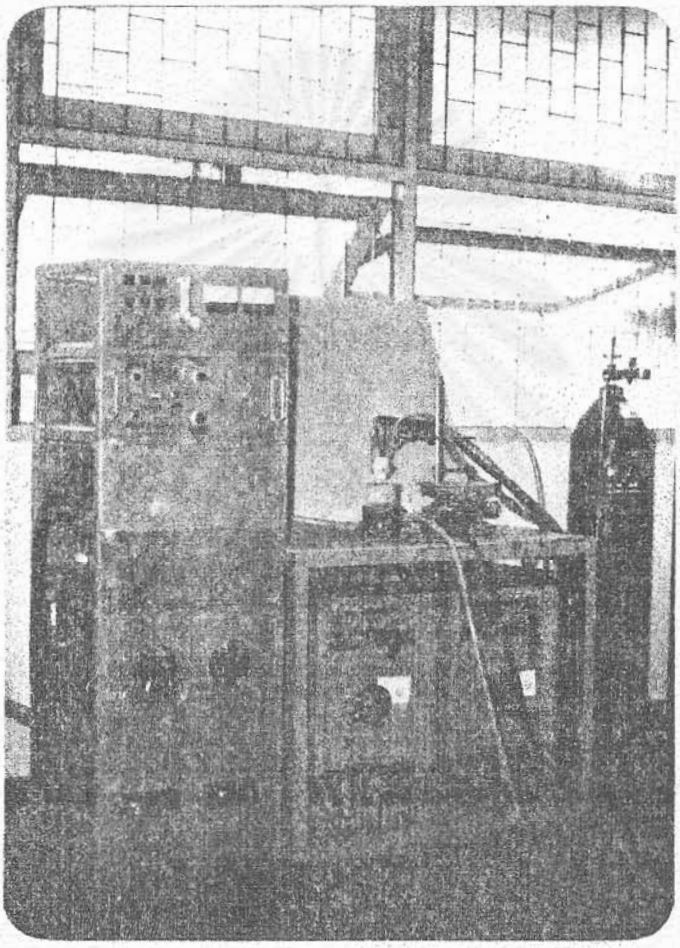
การระบายความร้อนด้วยอากาศออกจากไดโอดซึ่งต่อเป็นวงจรบริดจ์บนแผ่นระบายความร้อนทำด้วยอลูมิเนียม จะใช้พัดลมขนาดเล็ก 2 เครื่องเป่าให้ความร้อนถูกพาออกไป เพื่อลดอุณหภูมิที่ลังค์ชัน (junction) ของไดโอดในขณะที่เกิดอาร์ค เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสูงมาก (ในช่วง 100-300 แอมแปร์) แผ่นระบายความร้อนที่ใช้ทำจากแผ่นอลูมิเนียมขนาดกว้าง 100 มม. หนา 12.7 มม. นำมาตัดและเชื่อมเป็นครีบ และติดตั้งวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 ชุด (มีไดโอด 4 ตัว) บนแผ่นระบายความร้อนนี้ 1 ชิ้น ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงการติดตั้งไดโอดบนแผ่นระบายความร้อน

พลาสมาก๊าซซึ่งทำหน้าที่ห่อหุ้มและระบายความร้อนบางส่วนจากขั้วไฟฟ้าลบ (แท่งโลหะทังสเตน) และเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาในการวิจัยนี้จะใช้ก๊าซอาร์กอนเพียงอย่างเดียวตลอดการทดลอง เนื่องจากสามารถทำให้เกิดอาร์คพลาสมาได้ง่าย ให้อุณหภูมิสูง และในขณะเดียวกันจะทำให้บรรยากาศเป็นก๊าซเฉื่อยไปด้วย ส่วนก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจนนั้นจะยังไม่ใช้เนื่องจากจะต้องใช้แรงดันวงจรเปิดสูงกว่า และคบพลาสมาที่สร้างขึ้นมานี้ยังไม่อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์นัก อาจก่อให้เกิดอันตรายในขณะที่ทดลองได้

เตาอาร์คพลาสมาที่สร้างและประกอบเสร็จแล้วจะแสดงในรูปที่ 15



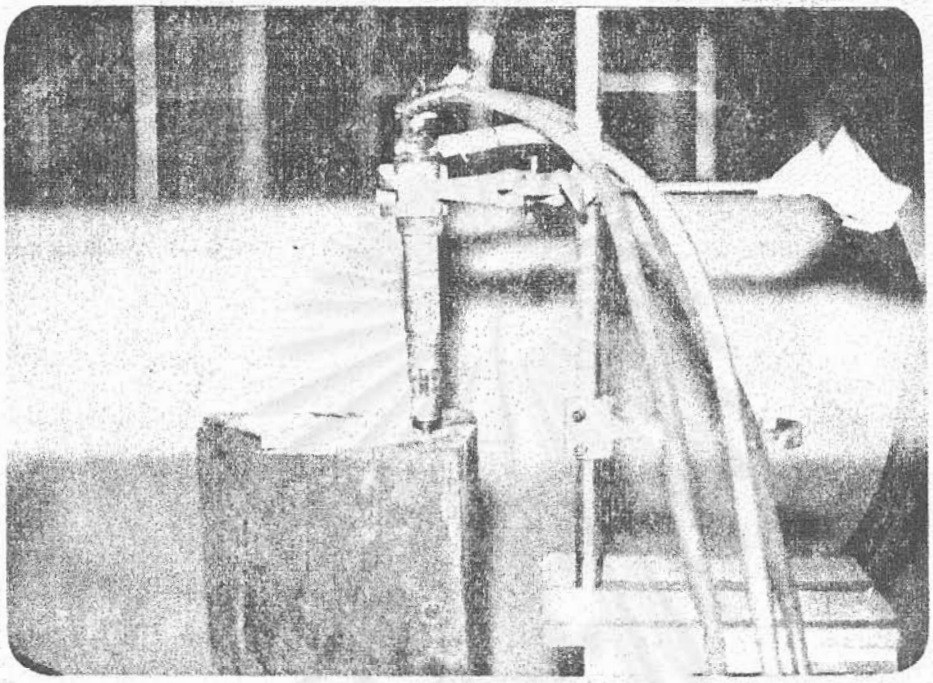
รูปที่ 15 แสดงเตาอาร์คพลาสมาขนาดกำลังไฟฟ้าประมาณ 20kW
ที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

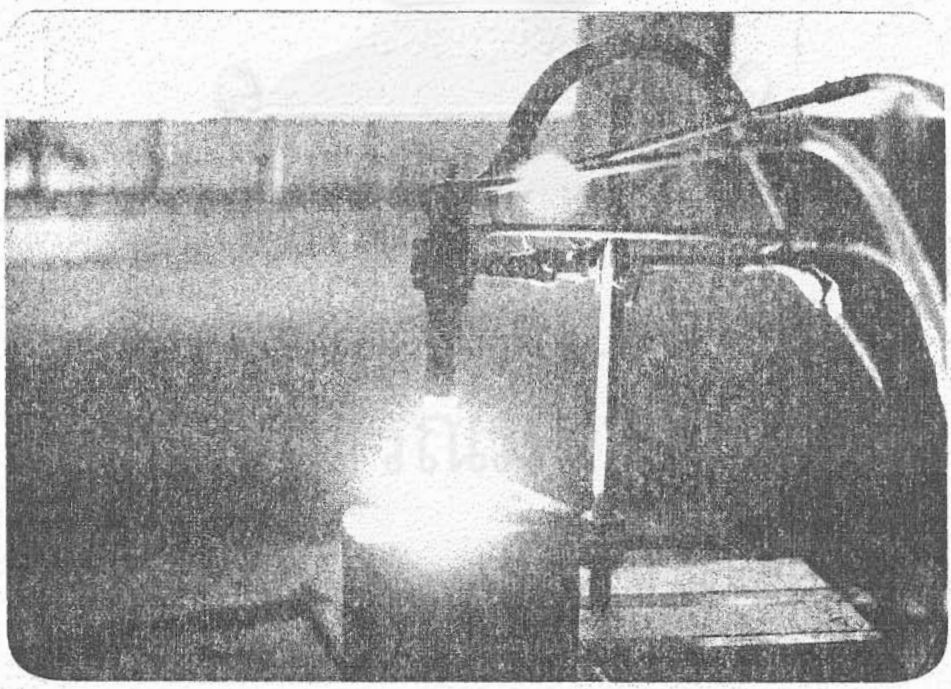
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การพัฒนาคบพลาสมา

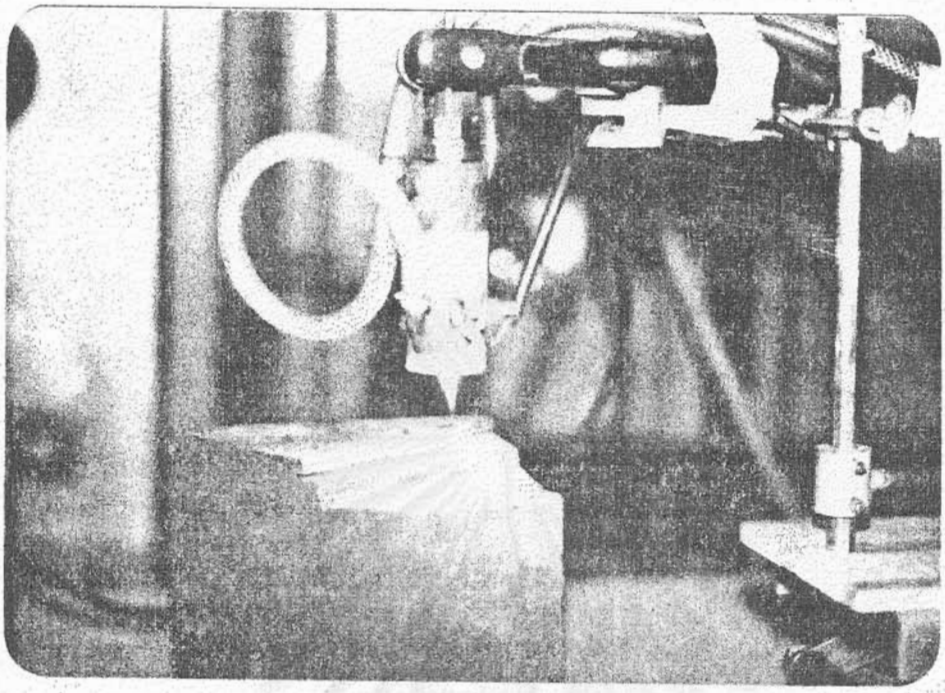


รูปที่ 16.1 ชุดคบพลาสมาแบบ non-transferred



รูปที่ 16.2 อาร์คพลาสมาขณะสภาวะสมดุลย์

รูปที่ 16 แสดงการพัฒนา Non-transferred Arc Plasma

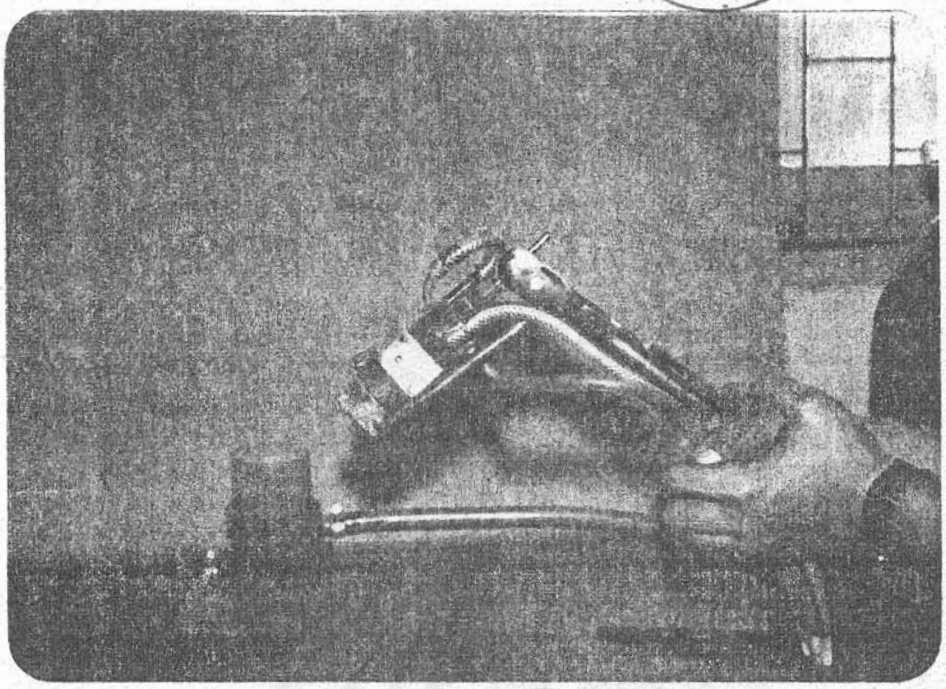


รูปที่ 17.1 ชุดคบพลาสมา แบบ transferred ขณะเกิด pilot arc

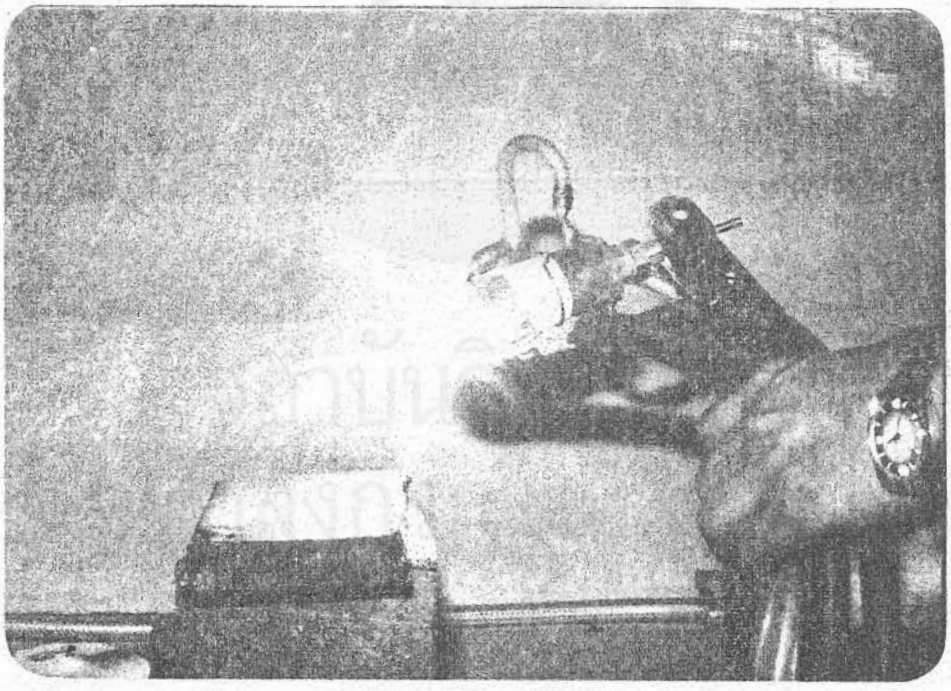
รูปที่ 17.2 อาร์คพลาสมาขณะสภาวะสมดุลย์

รูปที่ 17 แสดงการพัฒนา Transferred Arc Plasma

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



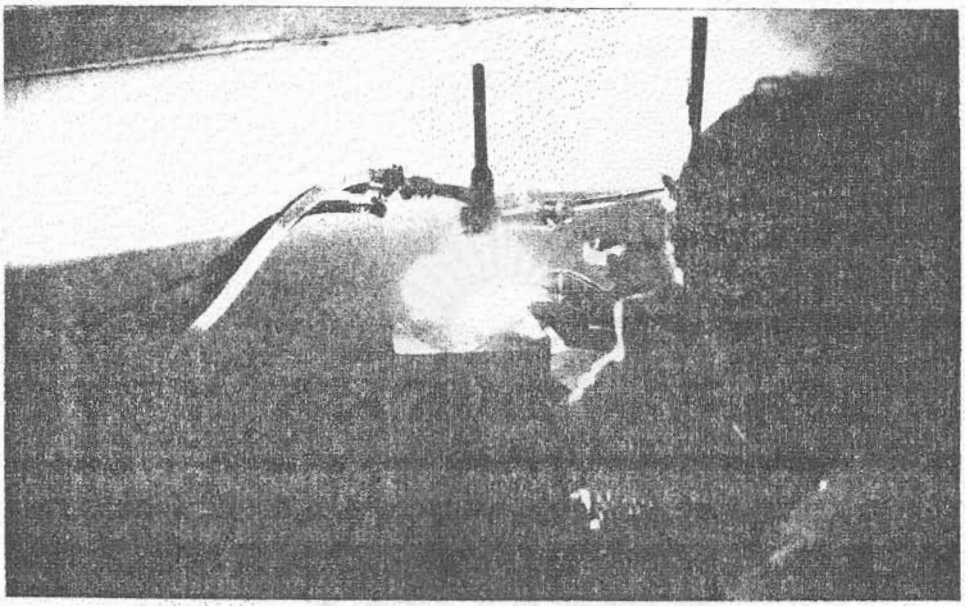
รูปที่ 18.1 ชุดคบพลาสมาที่ใช้เป็นฮีทเตอร์



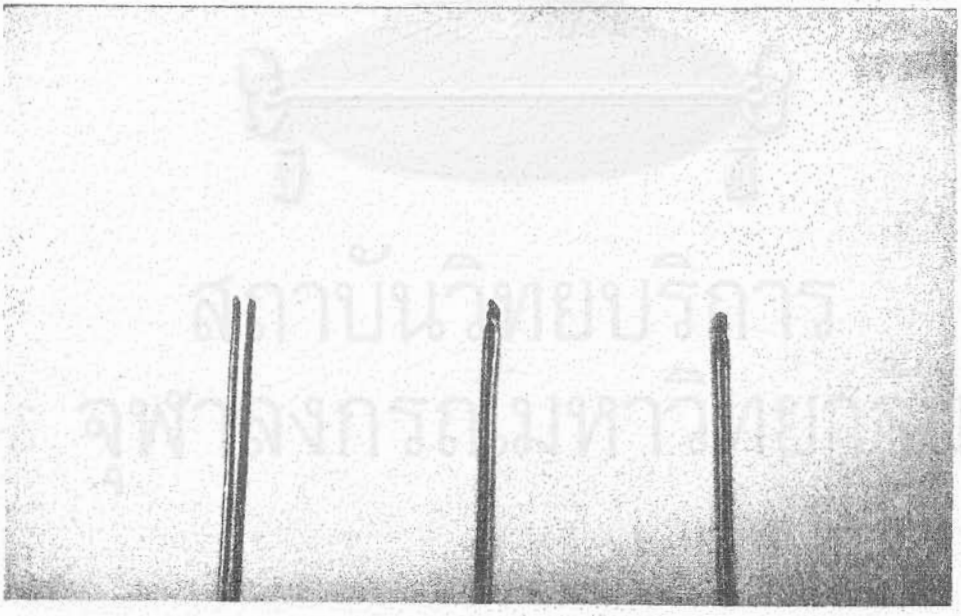
รูปที่ 18.2 พลาสมาฮีทเตอร์ขณะใช้งาน

รูปที่ 18 แสดงการพัฒนาคบพลาสมาที่ใช้งานเป็นฮีทเตอร์

4.2 การประยุกต์ในงานด้านโลหะกรรมพลาส่มา

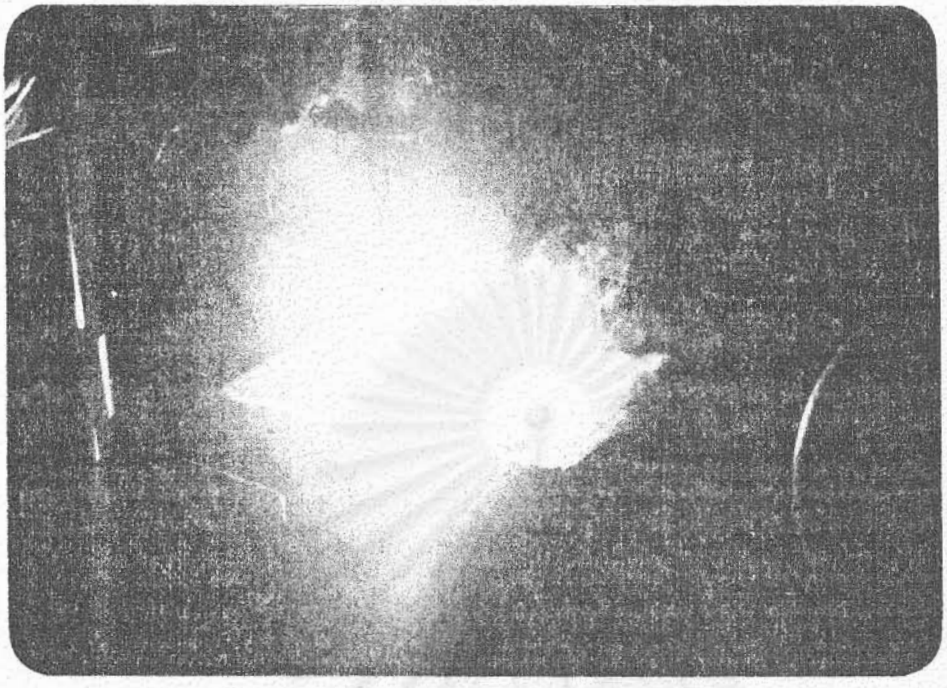


รูปที่ 19.1 การใช้อาร์คพลาส่มา แบบ non-transferred เชื่อมรอยต่อเทอร์โมคัปเปิล

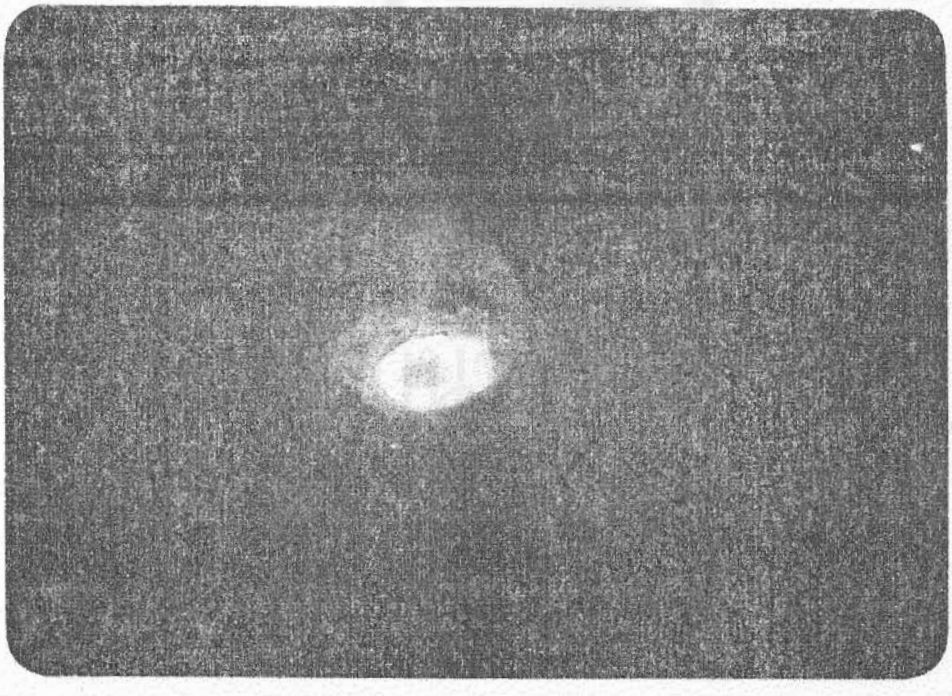


รูปที่ 19.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล-อลูเมล หลังเชื่อมด้วยเปลวพลาส่มา

รูปที่ 19 แสดงการใช้ประโยชน์ของอาร์คพลาส่มาในการเชื่อมรอยต่อเทอร์โมคัปเปิล

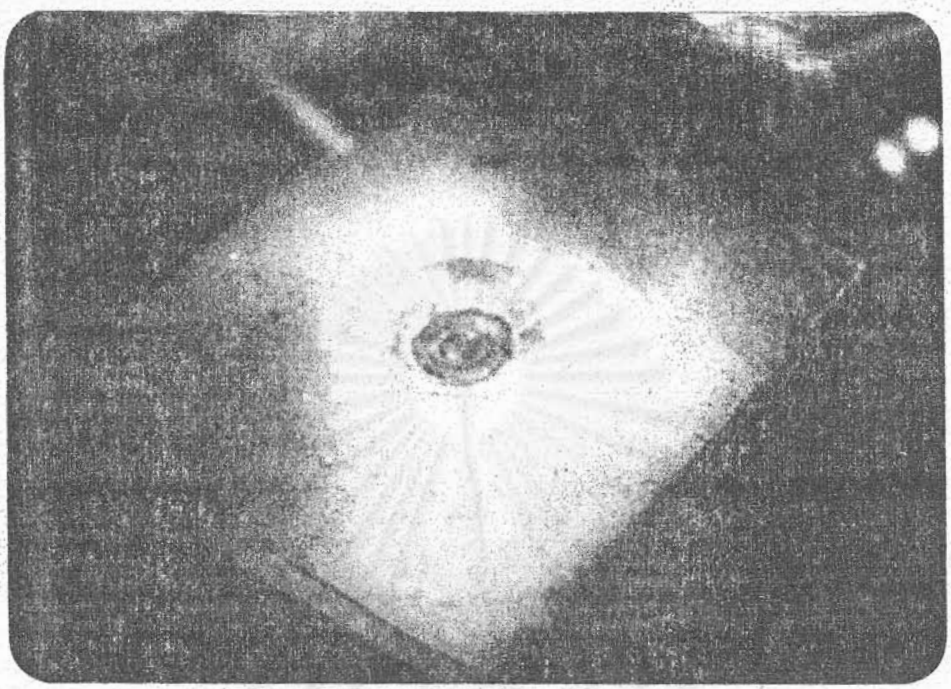


รูปที่ 20.1 การถลุงแร่ดีบุกด้วยพลาสมา

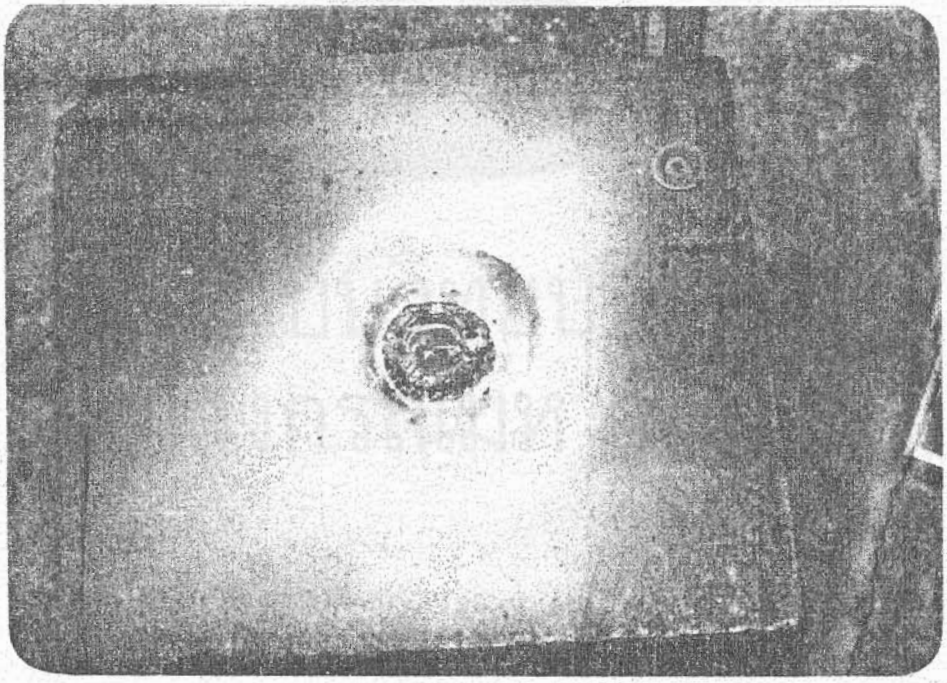


รูปที่ 20.2 โลหะดีบุกและสแลกที่ได้หลังดับอาร์ค

รูปที่ 20 แสดงการใช้ประโยชน์ของพลาสมาในการถลุงโลหะ

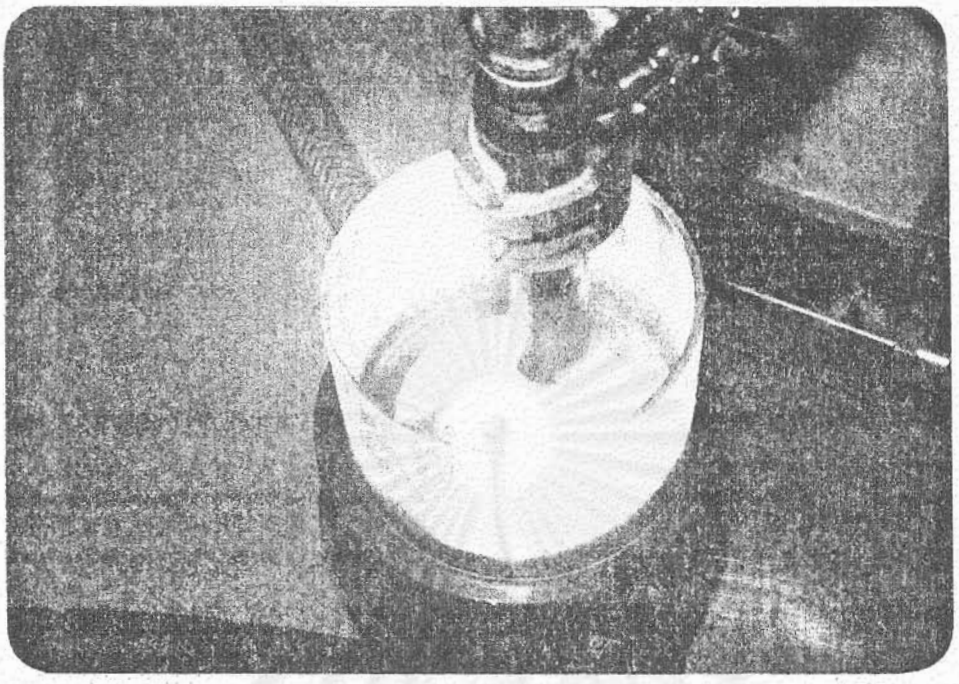


รูปที่ 21.1 โลหะตีบุกและสแลกซึ่งยังร้อนอยู่

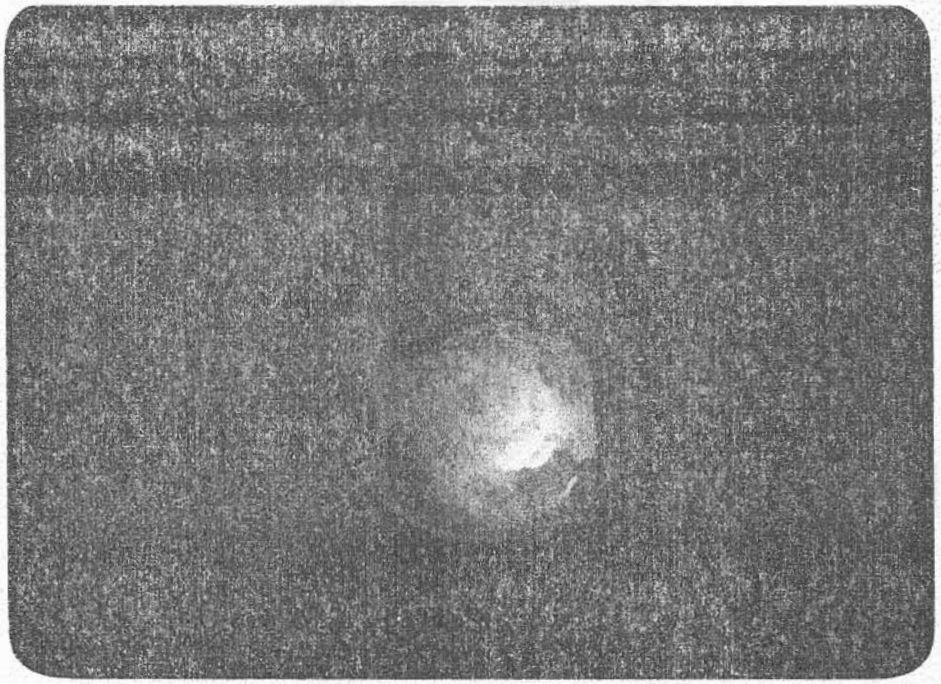


รูปที่ 21.2 โลหะตีบุกและสแลกที่เย็นตัวแล้ว

รูปที่ 21 แสดงการเย็นตัวของโลหะที่ถลุงในเบ้ากราฟไฟท์

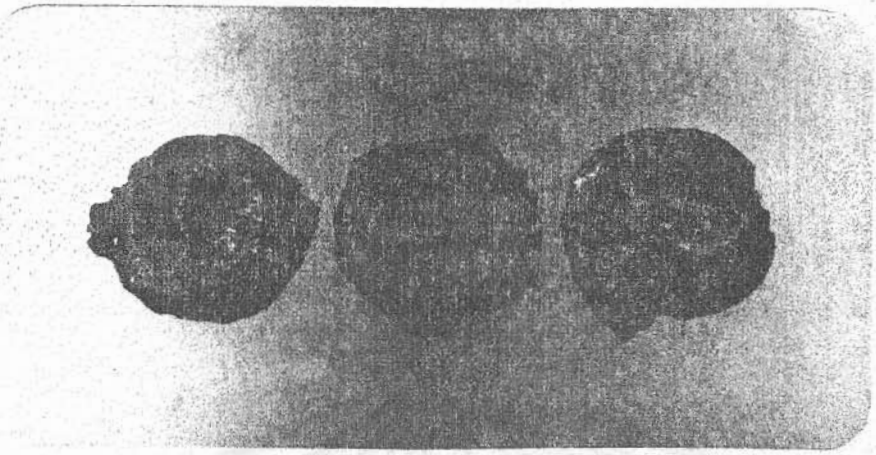


รูปที่ 22.1 การใช้ non-transferred arc หลอมโลหะในเบ้าทองแดง

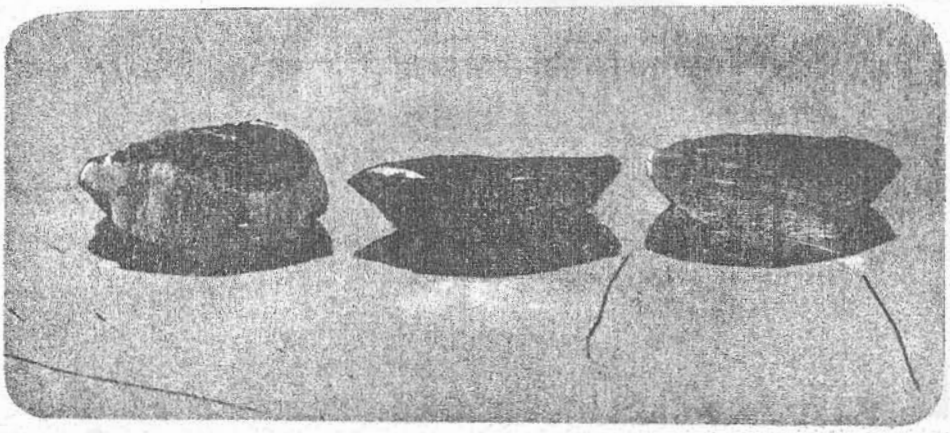


รูปที่ 22.2 โลหะที่หลอมได้ขณะปล่อยให้เย็นตัวในเบ้า

รูปที่ 22 แสดงการใช้ประโยชน์ของอาร์คพลาสมาในการหลอมโลหะ



รูปที่ 23.1 ชิ้นโลหะเหล็ก, ทองแดง, อลูมิเนียม ที่ได้จากการหลอมด้วยอาร์คพลาสมา



รูปที่ 23.2 เนื้อโลหะฝาจากชิ้นโลหะที่ได้จากการหลอมเนื้อโลหะ

รูปที่ 23 แสดงตัวอย่างโลหะที่ได้จากการหลอม

บทที่ 5

วิจารณ์และสรุป

การพัฒนาอาร์คพลาสมาแบบนัน-ทรานสเฟอร์ ใช้คบพลาสมาที่มีลักษณะและรูปร่างดังรูป 11 การกำเนิดอาร์คทำได้โดย ปรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าให้อยู่ห่างกันพอสมควร เพื่อเปิดสวิทช์ควบคุมการทำงาน ของต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูงจะเกิดสปาร์คขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทำให้พลาสมากาซแตกตัวดังรูป 16.1 เปิดสวิทช์ควบคุมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาดังรูป 16.2 แล้วปรับความยาวของลำอาร์คพลาสมาและเพิ่มกำลังไฟฟ้าตามต้องการ (ขึ้นกับ วี-ไอ กราฟของหม้อแปลงไฟฟ้า) อาร์คพลาสมาแบบนัน-ทรานสเฟอร์นี้ อาจเรียกว่า ไดเรคอาร์ค(direct arc) ก็ได้ เนื่องจากเกิดจากการอาร์คของขั้วไฟฟ้าทั้งบวกและลบโดยตรง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลอมโลหะและงานเชื่อมทั่วไป

การพัฒนาอาร์คพลาสมาแบบทรานสเฟอร์ อาศัยการทำให้เกิดไพลอตอาร์คขึ้นก่อน จากนั้นจึงใช้แรงดันวงจรเปิดระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกของไพลอตอาร์คกับขั้วไฟฟ้าบวกของเบ้าหลอม ดึงลำอาร์คพลาสมาที่เกิดให้ยาวขึ้น จากการทดลองได้ลองใช้แผ่นกราฟไฟท์เป็นขั้วบวกของไพลอตอาร์ค แต่เนื่องจากการระบายความร้อนทำได้ไม่สะดวก จึงทำให้อุณหภูมิของแผ่นกราฟไฟท์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความต้านทานไฟฟ้าของกราฟไฟท์ก็เพิ่มขึ้นไปด้วย ผลคือไม่สามารถรักษาไพลอตอาร์คให้คงอยู่ได้ และได้แก้ไขโดยใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวกของไพลอตอาร์ค-พลาสมา ซึ่งสามารถระบายความร้อนได้สะดวกและพอเพียง ผนังของขั้วไฟฟ้าบวกที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนี้ ต้องมีความหนาพอที่จะทนแรงดันของน้ำขณะใช้งานได้ด้วย

การดัดแปลงเอาคบพลาสมาที่ใช้งานเป็นฮีทเตอร์ มาใช้เป็นไพลอตอาร์คพลาสมา ปรากฏว่าได้ผลดี และใช้งานได้สะดวกโดยจะเกิดไพลอตอาร์คพลาสมาขึ้นก่อน ดังรูป 17.1 จากนั้นจึงลดระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกของไพลอตอาร์คกับขั้วไฟฟ้าบวกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักให้น้อยลง จนกระทั่งเกิดทรานสเฟอร์อาร์คพลาสมาขึ้น และปรับลำพลาสมาให้ได้ความยาวตามต้องการ ดูรูป 7.2 เนื่องจากอาร์คพลาสมาแบบทรานสเฟอร์นี้มักจะทำในท่อควอทซ์ และมีน้ำระบายอยู่ภายนอก เพื่อระบายความร้อน อาร์คที่ได้จะยาวมากกว่าอาร์คที่ได้ทดลองแบบเปิด การใช้พลาสมาในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการถลุงโลหะหรือปฏิกริยาทางเคมี นิยมใช้อาร์คพลาสมาแบบทรานสเฟอร์มาก

การพัฒนาคบพลาส่มาที่ใช้เป็นฮีทเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะดังรูป 12 การเกิดอาร์คพลาส่มาจะเกิดได้ง่าย เนื่องจากระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสองคงที่และแคบมาก การออกแบบจะเกิดปัญหาอยู่ในส่วนของขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ซึ่งจะต้องอยู่ใกล้กัน และในขณะเดียวกันจะต้องมีฉนวนกั้นในบริเวณที่ไม่ต้องการให้เกิดอาร์ค ซึ่งต้องทนความร้อนได้ คบพลาส่มาที่ออกแบบขึ้นพบปัญหาของการส่ร้างเนื่องจากหาย่างกลึงที่มีความส่ามารถและละเอียดไม่ได้ นอกจากนี้ในส่วนของระบบระบายความร้อน จำเป็นต้องแก้ไขเรื่องการใช้ท่อยางเป็นท่อน้ำระบายความร้อน ที่คบพลาส่มามักจะเกิดการไหม้และละลายขณะใช้งาน ซึ่งเป็นผลจากเปลวพลาส่มาเกิดการเบี่ยงเบนฟุ้งกลับในบริเวณที่ใช้งานจำกัด ซึ่งการแก้ไขแส่ดงในรูป 17.2 ท่อที่เป็นท่อยาวบริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้าบวก ใช้ท่อทองแดงต่อให้ยาวพ้นเปลวพลาส่มาที่จะวกกลับมาโดนได้

คบพลาส่มาที่ส่ร้างขึ้นนี้ยังไม่อยู่ในส่ภาพที่ส่มบูรณ์ เนื่องจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทังส่เตนที่ใช้มีขนาดไม่ใหญ่พอที่จะทนกระแส่ไฟขนาด 300 แอมแปร์ได้ ดังนั้นการใช้งานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง จะทำให้บริเวณปลายของแท่งขั้วไฟฟ้าลบที่เป็นทังส่เตนเกิดสึก (corrode) อย่างรวดเร็ว การวางตำแหน่งของแท่งทังส่เตนยังไม่อยู่ในแนวที่ลากผ่านศูนย์กลาง (center line) ทำให้ช่องว่าง (gap) ของบริเวณที่เกิดอาร์คมีระยะไม่แน่นอน เป็นผลให้บริเวณที่มีระยะห่างน้อยที่สุด เกิดการสึกมากที่สุดบนขั้วไฟฟ้าบวก อัตราการไหลของพลาส่มากาซจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทิศทางของเปลวพลาส่มาที่พุ่งออกมาก็เปลี่ยนเช่นกัน ขนาดและรูปร่างของคบพลาส่มาที่ส่ร้างขึ้นเป็นฮีทเตอร์นี้ ยังไม่เหมาะส่มที่จะนำไปใช้งานทั่ว ๆ ไปได้

การประยุกต์อาร์คพลาส่มาในงานถลุงโลหะที่ผู้วิจัยได้ศึกษาคือ แร่ดีบุก ที่เรียกว่า แคซิเตอไรท์ (SnO_2) นำมาผส่มกับถ่านโค๊ก (coke) หรือถ่านชาร์โคล (charcoal) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ และใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประส่าน โดยปูนซีเมนต์นี้จะทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (flux) ในขณะที่ถลุงด้วย การถลุงทำบนเบ้ากราฟไฟท์ ผลการทดลองแส่ดงดังรูป 20.1, 20.2 หน้า 27 และ รูป 21.1, 21.2 หน้า 28 ตามลำดับ โลหะดีบุกที่ถลุงออกมา จะแยกตัวจากแส่ลก (slag) มารวมกันบริเวณใจกลางเบ้าซึ่งมีลักษณะเป็นแอ่ง เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าแส่ลก และมีแส่ลกซึ่งมีจุดหลอมตัวสูงกว่า และความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า อยู่บริเวณรอบ ๆ โลหะดีบุกที่หลอมตัวรวมกัน จากรูปที่แส่ดงจะเห็นได้ว่าบริเวณขอบของเบ้ากราฟไฟท์ จะมีผงสีขาวตกอยู่ ผงเหล่านี้คือ SnO_2 ที่เกิดจากการที่โลหะดีบุกได้รับความร้อนจากอาร์คพลาส่มาซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก และระบายความร้อนไม่ทัน จึงมีการระเหยกลายเป็นไอเกิดขึ้น และทำปฏิกริยา

กับออกซิเจนในอากาศที่มีอยู่รอบ ๆ เปลวพลาสมา เกิดเป็น SnO_2 เกาะอยู่บริเวณขอบเบ้า ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าในเบ้า

จากการเปรียบเทียบการถลุงโดยใช้อาร์คพลาสมาแบบทรานสเฟอร์ และอาร์คพลาสมาจากคบพลาสมาที่เป็นฮีทเตอร์ พบว่าอาร์คพลาสมาจากฮีทเตอร์ที่ออกแบบขึ้นมาปริมาณความร้อนไม่เพียงพอ และอัตราการไหลของกาซสูงมาก เป็นผลให้วัสดุที่จะถลุง (charges) ถูกเป่าจนฟุ้งกระจาย ต้องใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสานแล้วอัดเป็นเม็ด (pellets) จึงจะใช้ได้ ส่วนอาร์คพลาสมาแบบทรานสเฟอร์นั้นให้ปริมาณความร้อนสูงมาก สามารถใช้งานได้ดี แต่เนื่องจากการเคลื่อนตัวของคบพลาสมาไม่สะดวก จึงเป็นผลให้เกิดการกระจายความร้อนไม่ทั่วถึงบริเวณโลหะดีบุกหลอมเหลวจะได้รับความร้อนมากที่สุด จึงกลายเป็นไอระเหยออกมาดังที่กล่าวมาแล้ว

การประยุกต์อาร์คพลาสมาในงานหลอมโลหะ ได้ทดลองหลอมโลหะต่าง ๆ คือ ทองแดง อลูมิเนียม และเหล็ก ในเบ้าทองแดงนี้สร้างขึ้น ดังแสดงในรูป 22.1, 22.2 หน้า 29 และ 23.1, 23.2 หน้า 30 เนื่องจากเบ้าหลอมนี้ยังไม่สมบูรณ์ คือยังขาดฝาปิดส่วนบนกันอากาศเข้า และคบพลาสมาเคลื่อนตัวไม่สะดวก เนื่องจากคบพลาสมาที่ออกแบบมีปัญหาเรื่องการระบายความร้อน จึงทำให้โลหะที่หลอมได้มีอากาศไปทำปฏิกริยา มีรูพรุนข้างใน และผิวเป็นออกไซด์ จึงจะต้องพัฒนาต่อไป

การประยุกต์ในการเชื่อมโลหะที่อุณหภูมิสูง ได้ทดลองเชื่อมเทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล-อลูเมล (chromel-Alumel) เนื่องจากการเชื่อมรอยต่อเทอร์โมคัปเปิลโดยทั่วไปจะใช้รีดิวซิ่งเฟลม (reducing flame) ของหัวเชื่อมแบบออกซี-อะเซทิลีน รอยเชื่อมที่ได้นั้นไม่ประสานกันมีผิวขรุขระ และมีคาร์บอนเข้าไปปนอยู่ด้วย จากการใช้เปลวของพันทรานสเฟอร์อาร์คพลาสมาในการเชื่อม จะได้รอยเชื่อมที่มีปมยนานเล็กผิวเรียบ และประสานกันดี ดังแสดงในรูปที่ 19.1 และ 19.2 หน้า 26 กำลังไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สูงนัก เนื่องจากอุณหภูมิของอาร์คพลาสมาสูงมาก เราใช้เพียงบริเวณเปลวเท่านั้น ถ้าใช้ความร้อนจากใจกลางจะทำให้เทอร์โมคัปเปิลหลอมละลายหมด อย่างไรก็ตามการเชื่อมเทอร์โมคัปเปิลจะต้องอาศัยเทคนิคในการพิจารณาจุดหลอมตัวของโลหะที่จะมาเชื่อมทั้ง 2 เส้น ซึ่งมีจุดหลอมตัวต่างกันด้วย

การพัฒนาคบพลาสมาเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ นั้น มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากงานแต่ละประเภทจะมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน ต้องการรูปร่างของคบพลาสมาและสมรรถนะ

ในการใช้งานแตกต่างกันไป ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้คือ

1. การออกแบบคบพลาสมา แล้วหาผู้ที่มีประสบการณ์ ความชำนาญและความละเอียดในการสร้างไม่ได้ เช่น กลึงรูปร่างไม่เรียบร้อย อไลน์เมนท์ไม่ดี ปลายสำหรับส่วม vycor ไม่พอดี การเชื่อมหรือบัดกรีโลหะไม่เรียบร้อย การไหลของน้ำที่ระบายความร้อนของคบพลาสมาไม่สะดวก เชื่อมขั้วสำหรับต่อไฟฟ้าไม่แข็งแรงพอทำให้ทนกระแสสูงไม่ได้ เป็นต้น

2. วัสดุที่จัดหาได้ในประเทศ มีขอบเขตจำกัด โดยเฉพาะแท่งโลหะทังสเตนที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าลบ ที่หาซื้อได้มีขนาดเล็กไป และรูปร่างเป็นแท่งทำให้การออกแบบระบบระบายความร้อนลำบาก ควรใช้ทังสเตนที่มีลักษณะเป็น tip และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่าเดิม เพื่อสะดวกในการระบายความร้อน

3. ควรมีที่จับคบพลาสมา ให้สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกในทิศทางต่าง ๆ ตามต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนไหวในที่แคบ ๆ เพื่อให้ความร้อนกระจายได้สม่ำเสมอ

4. ควรออกแบบและใช้งานคบพลาสมาให้เหมาะสม ไม่ควรใช้คบพลาสมาผิดงาน หรือออกแบบคบพลาสมาเป็นแบบ general purpose เพราะจะทำให้สูญเสียประสิทธิภาพ

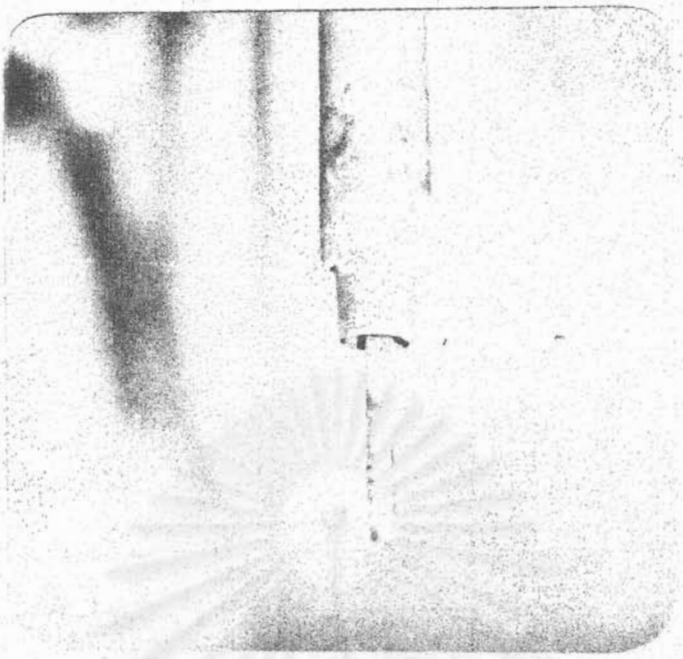
การทดลองต่าง ๆ ที่ได้ พบว่าควรจะมีการสร้าง เครื่องป้อนผงสำหรับใช้ในงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพลาสมา เนื่องจากอุณหภูมิของพลาสมาสูงมาก แต่มีขนาดของเปลวค่อนข้างจำกัด ดังนั้นการใช้เครื่องป้อนผง ป้อนวัสดุในรูปผงให้ผ่านเข้าไปในเปลวพลาสมา จะช่วยให้หมดปัญหาเรื่องการฟุ้งกระจายของผง วัสดุที่ใช้ป้อน(charges) และในขณะเดียวกันผลที่ได้จะดียิ่งกว่าเดิมด้วย กล่าวคือ วัสดุจะได้รับความร้อนโดยตรงทันที สามารถเกิดปฏิกริยาได้ดี

สิ่งที่ควรระมัดระวังมากที่สุดในการใช้งาน หรือทำการทดลองกับอาร์คพลาสมาก็คือ อันตรายของรังสีเหนือม่วง ที่มีต่อสายตาและผิวหนังของผู้ที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากจะต้องควบคุมการทำงาน และศึกษาปฏิกริยาอย่างใกล้ชิด เป็นผลให้ได้รับปริมาณรังสีเหนือม่วงและแสงสว่างที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นมาก เมื่อโดนรังสีเหนือม่วงเป็นเวลานาน หรือได้รับในปริมาณสูงจะทำให้ผิวหนังเกิดไหม้เกรียม มีอาการแสบและจะลอกออกในเวลาต่อมา ดังรูป 25 หน้า 36 แสงสว่างที่เกิดขึ้นซึ่งมีรังสีเหนือม่วงรวมอยู่ด้วยนี้ ถ้านัยน์ตาได้รับมากจะทำให้อักเสบ ปวดนัยน์ตา ซึ่งถ้าได้รับนานอาจทำให้ตาบอดได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการดึงอาร์คยาว ปริมาณรังสีก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

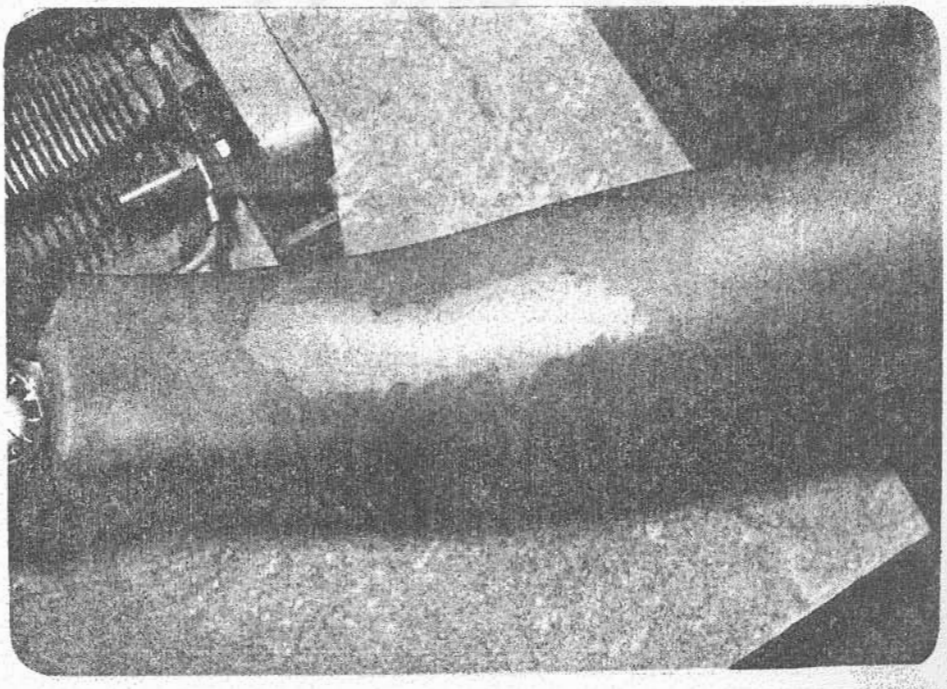
นอกจากนี้ฝุ่นควันที่เกิดขึ้นจากการกลายเป็นไอของวัสดุ ในขณะที่ใช้อาร์คพลาสมาในการหลอม เชื่อม และถลุงโลหะอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ เมื่อหายใจเข้าไปในปริมาณมาก ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่เกี่ยวกับสารรังสีต่าง ๆ ควรระมัดระวัง เรื่องการฟุ้งของสาร การเปรอะเปื้อนรังสีในบริเวณที่ทำงานและเสื้อผ้า และทางที่ดีควรทำในตู้ควัน เพื่อจะได้ดูดควันที่ฟุ้งออกไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 24 แสดงการลึกของขั้วไฟฟ้าลบ เนื่องจากกระแสสูงเกินไป



รูปที่ 25 แสดงผลของรังสีเหนือม่วงที่มีต่อผิวหนังขณะปฏิบัติงาน

บรรณานุกรม

1. E.L.El-wakil. Nuclear Energy Conversion. McGraw-Hill
2. John R.Larmarsh. An Introduction to Nuclear Engineering
3. วิรุฬห์ มังคละวิรัช และสุวิทย์ ปุณณชัยยะ. การพัฒนาอาร์คพลาสมา. โครงการวิจัยเลขที่ 47-MRD-2522 ทุนสนับสนุนการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
4. D.A. Gerdeman & N.L. Heeht., Springer-Verlay, Wier. Applied Mineralogy vol 3 : Arc Plasma Technology in Material Science New York 1972
5. F.P. Edneral Electrometallurgy of Steel and Ferro-alloys vol.I, II. Mir Publishers, Moscow.
6. Sven Santen, SEAISI Quartery.Plasma red-A Technology for the Manufacture of Sponge Iron. Vol.9-3, 1980, pp. 55-58
7. J.Vallomy, SEAISI Quartery. Use of Sponge Iron in Electric Arc Furnace. Vol. 9-1, 1980, pp. 65-71
8. Centorr Association, Inc. Single Arc Furnace and Tri-Arc Furnace.