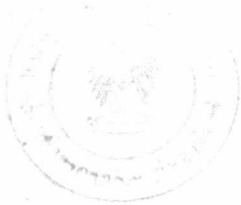
การพัฒนาเครื่องไมโครอาร์คพลาสมาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านวัสดุนิวเคลียร์

นายคุปต์ โพธิ์แก้ว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 947-636-873-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17212376

DEVELOPMENT OF A MICRO ARC PLASMA MACHINE FOR NUCLEAR MATERIAL APPLICATIONS

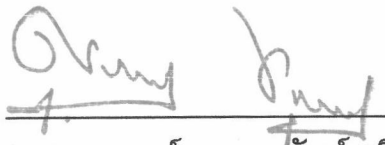
Mr. Coop Phokew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Acadamic Year 1996

ISBN 947-636-873-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องไมโครอาร์คพลาสมาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านวัสดุนิวเคลียร์
โดย	นายคุปต์ โพธิ์แก้ว
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช

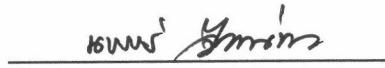
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

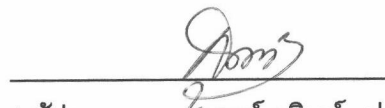
(ศาตราจารย์ นพ. ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



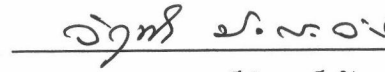
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)



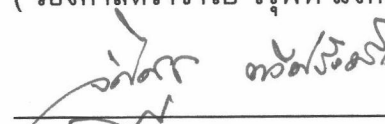
อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช)



กรรมการ

(อ.ดร. วิศิษฐ ทวีปรังษีพร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

คุปต์ โพธิ์แก้ว : การพัฒนาเครื่องไมโครอาร์คพลาสมาสำหรับประยุกต์ใช้ในงานด้านวัสดุนิวเคลียร์ (DEVELOPMENT OF A MICRO ARC PLASMA MACHINE FOR NUCLEAR MATERIAL APPLICATIONS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ.ที่ปรึกษาร่วม :รศ.วิรุฬห์ มังคละวิริยะ ; 66 หน้า .ISBN 974-636-873-7

อาร์คพลาสมาที่ทำงานด้วยกระแสต่ำระหว่าง 0.1 ถึง 15 แอมแปร์จัดอยู่ในประเภทไมโครอาร์คพลาสมา เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนอุณหภูมิสูงสำหรับงานเชื่อมโลหะบางที่ต้องการให้ตะเข็บรอยเชื่อมมีขนาดเล็กมาก มีการหดตัวน้อย และมีผิวเชื่อมที่สะอาด งานด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์มีการนำไปใช้สำหรับงานเชื่อม แคปซูลบรรจุต้นกำเนิดรังสีแบบปิดผนึก และท่อไอน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไมโครอาร์คพลาสมา ที่สามารถปรับกระแสไฟฟ้าทางออกได้จาก 0.5 ถึง 20 แอมแปร์ และให้ศักดาไฟฟ้าเปิดวงจร 80 โวลต์ โดยเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดอาร์คพลาสมาได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระแสทางออกคงที่แบบสวิตซ์ เลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตในวงจรขับหม้อแปลงความถี่สูงและวงจรกำเนิดไฟฟ้าศักดาสูงความถี่สูงแบบเทสลาสำหรับเริ่มจุดอาร์ค ใช้คอยส์จุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์เป็นส่วนสร้างไฟฟ้าศักดาสูง

ผลการพัฒนาพบว่า การใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ทำให้ขนาดของเครื่องไมโครอาร์คพลาสมามีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก สามารถทำงานที่กระแสลัดวงจรต่อเนื่องได้จาก 0.5 ถึง 20 แอมแปร์ โดยมีกระแสริปเปิลน้อยกว่า 2.5 แอมแปร์ที่กระแสสูงสุด จากการใช้หัวเชื่อมแบบ TIG กำเนิดอาร์คพลาสมาที่อัตราไหลของ แกสอาร์กอน 8 - 10 ลิตรต่อนาที ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน 3 มิลลิเมตรสามารถรักษาอาร์คคงที่ได้จากกระแส 10 แอมแปร์ขึ้นไป มีความร้อนสูงพอที่จะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 18 ได้ ถ้าจะทำงานที่กระแสต่ำกว่า 10 แอมแปร์จะต้องใช้หัวเชื่อมไมโครอาร์คพลาสมาเฉพาะซึ่งมีขนาดอิเล็กโตรดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตรและมีแกสไหลคลุมลำของอาร์คอบนอก

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต คุปต์ โพธิ์แก้ว

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C618636 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: MICRO ARC / NUCLEAR MATERIAL / PLASMA / SWITCHING POWER SUPPLY
COOP PHOKEW : DEVELOPMENT OF A MICRO ARC PLASMA MACHINE FOR NUCLEAR MATERIAL APPLICATIONS . THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR : ASSO. VIRUL MANGCLAVIRAJ : 66 pp. ISBN 974-636-873-7

Arc plasma operating at low current between 0.1-15 A can be categorized as microplasma welding. It is a high heat source for welding miniature and thin metal sheet requiring very thin joint with little shrinkage. Microwelding has been widely applied in nuclear industry to seal radioactive sources and butt weld steam pipes heat exchanger system in nuclear power plants. The objective of this research is to design and construct the microplasma source that can vary its output current from 0.5 to 20 A providing open circuit voltage of 80 Volts using only local materials and equipment supplies. The main component of the microplasma power source is the switching type DC power source with constant current output employing power MOSFET transistor. An engine ignition coil is used to generate high voltage in Tesla type HF discharge for arc plasma ignition.

The developed unit significantly reduced the size and weight of microplasma power source. The unit successfully operates continuously under short-circuit condition from 0.5 -20 A with ripple less than 2.5 A at maximum current. TIG arc torch was used to demonstrate the arc plasma heat source. Using the argon gas flow rate of 8-10 liters/min and distance between workpiece and electrode of 3 mm, arc flame can be stably maintained at 10 A and higher ; generating sufficiently high heat output to weld No. 18 stainless steel. In order to operate at a current lower than 10 A, a special microplasma torch with an electrode less than 1 mm in size is required.

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต ภูเก้ โพธิ์แก้ว

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยการช่วยเหลือสนับสนุนจากบุคลต่าง ๆทั้งที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย และ เพื่อนร่วมงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบคุณแด่ท่านต่าง ๆ เหล่านี้

ขอขอบคุณ ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ และ ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่กรุณาแนะนำวิธีการออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตช์ รวมทั้งท่านต่อไปนี้ ดร.โกวิท มาศรัตน ผศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์พิชิต ลำยอง อาจารย์ศิริโชค ปริตโตทกพร อาจารย์อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ และอาจารย์สุรชาติ แซ่ซื้อ ที่ได้ช่วยเหลือแนะนำ และช่วยทำวิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ช่วยเหลือสนับสนุนทุนวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ได้ให้เวลาศึกษาอย่างเต็มที่พร้อมทั้งอนุญาติให้ใช้อุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัยอย่างอิสระ

ท้ายที่สุดของกราบขอบพระคุณมารดาและพี่ที่มีอุปการคุณช่วยเหลือทุนการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย..... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 อาร์คพลาสมาและทฤษฎีเครื่องไมโครอาร์คพลาสมา
2.1 พลาสมา..... 3
2.2 การผลิตอาร์พลาสมา 4
2.3 การใช้พลาสมาในงานเชื่อมโลหะ 6
2.4 รูปแบบของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง..... 7
2.5 ทฤษฎีการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์..... 10
2.6 การเชื่อมด้วยไมโครอาร์คพลาสมา..... 20
2.7 คุณลักษณะของแหล่งจายไฟฟ้าสำหรับงานเชื่อมด้วยอาร์คพลาสมา 21
บทที่ 3 การพัฒนาเครื่องไมโครอาร์คพลาสมา
3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ..... 22
3.2 การออกแบบเครื่องไมโครอาร์คพลาสมา..... 23
3.3 การออกแบบวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์กำลัง..... 24
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมกระแสทางออก..... 32
3.5 การออกแบบระบบจุดอาร์คด้วยศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง 35
บทที่ 4 การทดสอบ
4.1 การทดสอบการจ่ายไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์..... 40

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2 การทดสอบการทำงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าศักดาสูงความถี่สูง..... 46

4.3 การทดสอบเครื่องไมโครอาร์คพลาสมา..... 46

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปงานวิจัย..... 49

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 50

รายการอ้างอิง 51

ภาคผนวก 52

ประวัติผู้เขียน 66

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงอุณหภูมิบริเวณต่าง ๆรอบลำอาร์คพลาสมา	4
2.2	แสดงการเชื่อมแบบอาร์คพลาสมา โดยมีก๊าซไหลอยู่รอบอิเล็กโตรด	6
2.3	แสดงการเชื่อมแบบtransfered และ nontransfered	7
2.4	แสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบเชิงเส้น	8
2.5	แสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์	8
2.6	รูปแบบของวงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางออกคงที่	10
2.7	เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.8	แสดงวงจรแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง	11
2.9	รูปแบบของวงจรแปลงกระแสแบบต่าง ๆ	12
2.10	แสดงการทำงานของวงจร half bridge converter	14
2.11	แสดงลักษณะการทำงานของวงจร half bridge converter	15
2.12	แผนภาพของวงจรขับเกตของวงจรสวิตซ์	15
2.13	แผนภาพของของวงจรขับ power MOSFET ที่รับสัญญาณมาจากวงจรควบคุมโดยผ่านวงจรแยกกราวนด์	16
2.14	รูปแบบวงจรสวิตซ์ของ power MOSFET	17
2.15	เปรียบเทียบลักษณะของอาร์คที่เกิดจากการเชื่อมแบบ TIG และแบบไมโครอาร์คพลาสมา	20
2.16	เปรียบเทียบการหดตัวของแนวเชื่อมหลังจากการเชื่อมด้วยวิธีต่าง	21
2.17	เส้นกราฟคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในงานเชื่อมอาร์คพลาสมา	21
3.1	แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบการเชื่อมแบบไมโครอาร์คพลาสมา	22
3.2	แผนภาพของเครื่องไมโครอาร์คพลาสมาที่พัฒนาขึ้น	23
3.3	แผนภาพโครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ของเครื่องไมโครอาร์คพลาสมา	24
3.4	แสดงวงจร EMI Filter	26
3.5	วงจรป้องกันการเกิดกระแสกระชากเข้าตัวเก็บประจุกรองกระแส	27
3.6	วงจร delay time 3.6 วินาที	27
3.7	วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	28

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	แสดง B-H curve ของแกนเฟอร์ไรท์แบบ EE80/76 ชนิด 6H20.....	30
3.9	โครงสร้างภายในของ IC SG3526	32
3.10	วงจรควบคุม.....	33
3.11	วงจรแปลงกระแสเป็นศักดาไฟฟ้านำไปป้อนกลับเพื่อควบคุมกระแสให้คงที่.....	34
3.12	วงจรสร้างศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง.....	35
3.13	วงจรสร้างสัญญาณควบคุม IGBT.....	36
3.14	ภาพถ่ายเครื่องไมโครอาร์คพลาสมาที่พัฒนาขึ้น.....	38
3.15	ภาพถ่ายภายในเครื่องไมโครอาร์คพลาสมา.....	39
4.1	การจัดอุปกรณ์ทดสอบในวงจร.....	40
4.2	สัญญาณขับเกต power MOSFET.....	41
4.3	สัญญาณศักดาไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง.....	41
4.4	สัญญาณศักดาไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง.....	42
4.5	สัญญาณศักดาไฟฟ้าทางออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้า.....	42
4.6	แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบคุณลักษณะศักดาไฟฟ้าด้านออก.....	43
4.7	แสดงคุณลักษณะของกระแสทางออกและศักดาไฟฟ้าทางออก.....	43
4.8	สัญญาณกระแสทางออกขณะทำการลัดวงจรที่กระแสคงที่ 5 A	44
4.9	สัญญาณกระแสทางออกขณะทำการลัดวงจรที่กระแสคงที่ 20 A	45
4.10	สัญญาณศักดาไฟฟ้าทางออกขณะทำการลัดวงจรที่กระแสคงที่ 0.5 A	45
4.11	แสดงการทดสอบระยะห่างมากที่สุดของขั้วอิเล็กโตรดของวงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูงยังทำงานได้ดี.....	46
4.12	อาร์คพลาสมาด้วยหัวเชื่อม TIG ที่ระยะห่าง 3 มิลลิเมตร กระแส 10 A.....	47
4.13	อาร์คพลาสมาด้วยหัวเชื่อม TIG ที่ระยะห่าง 3 มิลลิเมตร กระแส 20 A.....	48
4.14	ทดลองเชื่อมแผ่นเหล็กไร้สนิมแผ่นบาง.....	48
4.15	แสดงรอยเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 18	48