

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฐ
รายการสัญลักษณ์	ด
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 นิยามคำศัพท์	5
<b>2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>6</b>
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก	6
2.2 โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก	8
2.3 การประยุกต์ใช้งาน	10
2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค	10
2.5 ความสามารถในการเชื่อม	14
2.6 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยระบบทิก (Welding Stainless Steels with the Gas Tungsten – Arc Process)	14
2.7 โลหะวิทยาในรอยเชื่อม (Welding Metallurgy)	33

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
2.8	กลไกการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ	41
2.9	การทดสอบความแข็งของวัสดุ	43
2.10	การประเมินความสมดุลของเฟส	45
2.11	การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	46
2.12	การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
<b>3.</b>	<b>วิธีการดำเนินงาน</b>	<b>49</b>
3.1	วิธีการดำเนินงานวิจัย	49
3.2	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย	49
3.3	การทดลองเบื้องต้น	53
3.4	การออกแบบการทดลอง	56
3.5	การเตรียมชิ้นงานทดลอง	55
3.6	ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	57
3.7	การตรวจสอบและเก็บข้อมูล	57
3.8	สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล	59
<b>4.</b>	<b>ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง</b>	<b>60</b>
4.1	การวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดลองเบื้องต้น	60
4.2	การวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดลอง	64
4.3	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการบ่มแข็ง	77
<b>5.</b>	<b>สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>92</b>
5.1	สรุปผลการทดลอง	92
5.2	วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	94
5.3	อภิปรายผล	95
5.4	ข้อเสนอแนะ	96

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลการทดลอง	100
ข. รูปชิ้นงาน	107
ค. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่	111
ประวัติผู้วิจัย	120

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมีและปริมาณสมมูลความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมบ่อ (PRE) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	6
2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	9
2.3 การประยุกต์ใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	10
3.1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ของชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี	50
3.2 แสดงมาตรฐานของลวดเชื่อมทั้งสแตน	53
3.3 ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการทดลอง เบื้องต้น	53
3.4 การสุ่มการทดลองชิ้นงานจำนวน 18 ครั้ง	54
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรงบริเวณเนื้องาน (Base Metal)	65
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรงบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)	67
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Weld)	69
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal)	70
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)	72
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม(Weld)	73

## รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงเวลา-อุณหภูมิ (TTT-Diagram)	7
2.2	แผนภูมิ WRC-1992 สำหรับทำนายปริมาณเฟอร์ไรต์ในเหล็กกล้าไร้สนิม	7
2.3	ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด Alloy 2205	8
2.4	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อดูเพล็กซ์เกรด Alloy 2205	8
2.5	แผนภาพกิ่งสมดุลการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก-โครเมียม-นิกเกิล	11
2.6	แสดงกระบวนการเชื่อมแบบทิก (TIG Welding)	15
2.7	แสดงภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม	18
2.8	แสดงภาพเครื่องเชื่อมทิก	19
2.9	แสดงขั้วของกระแสไฟฟ้าที่หัวเชื่อมและชิ้นงานในการเชื่อมแบบ D.C.S.P	19
2.10	แสดงแนวเชื่อมที่แคบและลึกในการเชื่อมแบบ D.C.S.P	20
2.11	แสดงขั้วของกระแสไฟฟ้าที่หัวเชื่อมและชิ้นงานในการเชื่อมแบบ D.C.R. P	20
2.12	แสดงแนวเชื่อมที่กว้างแต่ไม่ลึกในการเชื่อมแบบ D.C.R.P	21
2.13	แสดงแสดงผิวของชิ้นงานในการเชื่อมแบบ D.C.R.P.	22
2.14	แสดงชิ้นส่วนที่ประกอบในหัวเชื่อมแบบ TIG	22
2.15	แสดงชิ้นส่วนที่ประกอบในหัวเชื่อมแบบ TIGชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ	23
2.16	แสดงแนวเส้นการแตงปลายทั้งสเดนที่ถูกต้อง	26
2.17	แสดงแนวเส้นการแตงปลายทั้งสเดนที่ผิด	26
2.18	แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทั้งสเดนอิเล็กโทรด	26
2.19	แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทั้งสเดนอิเล็กโทรดในการเชื่อมเหล็กกล้า	26
2.20	เปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะแนวเชื่อมใช้แก๊สอาร์กอนและฮีเลียมปกคลุม	28
2.21	อุปกรณ์ปรับความดัน แบบ Manometer	30
2.22	อุปกรณ์ปรับความดัน แบบ Flow-Meter	31
2.23	การเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณ HAZ ของเหล็กกล้าไร้สนิม	37
2.24	โนโมแกรมสำหรับทำนายเวลาที่ใช้ในการเย็นตัวช่วง $\Delta t_{12/8}$	37
2.25	โครงสร้างทางมหภาค Columnar ของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	38
2.26	ผลของระดับปริมาณไนโตรเจนในเนื้อรอยเชื่อมโดยใช้แก๊สอาร์กอน	40
2.27	สารละลายของแข็งแบบแทนที่	41

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
2.28	สารละลายของแข็งแบบเซลล์แทรก	41
2.29	การทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์	43
3.1	แผนภาพกิ่งสมมูลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	50
3.2	การจับยึดชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	51
3.3	เครื่องเชื่อม TIG	51
3.4	อุปกรณ์ช่วยการเชื่อม	52
3.5	แสดงปลายที่เสียนัยแล้วของทั้งสแตนเลสเหล็กโทรดในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม	52
3.6	แสดงชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป	53
3.7	เครื่องทดสอบความแข็ง	54
3.8	เครื่องขัดชิ้นงาน	54
3.9	การตัดชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัด Wire-Cut	55
4.1	การทดสอบการแจกแจงข้อมูล ค่าความแข็งบริเวณ เนื้องาน	61
4.2	การทดสอบการแจกแจงข้อมูล ค่าความแข็งบริเวณ เขตอิทธิพลความร้อน	61
4.3	การทดสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม	62
4.4	การทดสอบการแจกแจงข้อมูลเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณ เนื้องาน	62
4.5	การทดสอบการแจกแจงข้อมูลเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์ บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน	63
4.6	การทดสอบการแจกแจงข้อมูลเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม	63
4.7	ตำแหน่งที่ใช้ในการตรวจสอบหาค่าเฟสเฟอร์ไรท์และค่าความแข็ง	64
4.8	การทดสอบการแจกแจงข้อมูลบริเวณเนื้องาน	65
4.9	แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาของความแข็งบริเวณเนื้องาน	66
4.10	แสดงกราฟอิทธิพลร่วม อุณหภูมิและเวลาของความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน	68
4.11	แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาของความแข็งบริเวณแนวเชื่อม	69
4.12	แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน	71
4.13	แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์ เขตอิทธิพลความร้อน	73
4.14	แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม	74

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.15 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลองที่ไม่ผ่านกระบวนการบ่มแข็งที่กำลังขยาย 400 เท่า	75
4.16 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการบ่มแข็ง	76
4.17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	77
4.18 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	78
4.19 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	79
4.20 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	80
4.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	80
4.22 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	81
4.23 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	82
4.24 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	83
4.25 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	83
4.26 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	84
4.27 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	85
4.28 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	86
4.29 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	86
4.30 แสดงปริมาณเฟสเฟอไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	87
4.31 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	88

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.32 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ $850^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	89
4.33 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ $850^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	90
4.34 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรต์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ $850^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	91

## ประมวลศัพท์และคำย่อ

Active State	=	เกิดออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว
Arc Voltage	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์ค
Arc Length	=	ระยะอาร์ค
Austenitic Stainless Steel	=	เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนติก
Austenitic Stainless Steel	=	เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนติก
Alternating Current & High Frequency	=	กระแสสลับความถี่สูง
Air-Cooled Torch	=	การระบายความร้อนด้วยอากาศ
Aging	=	การบ่มแข็งด้วยอายุ
Arc Length / Arc Gap	=	ระยะอาร์ค
Ar	=	แก๊สอาร์กอน
Argon	=	แก๊สอาร์กอน
Aging	=	การบ่มแข็งด้วยอายุ
Brinell Hardness Test	=	การทดสอบความแข็งแรงแบบบริเนล
Corrosion	=	การกัดกร่อน
Coherent precipitate	=	การตกตะกอนแล้วมีแรงยึดเหนี่ยวกับเมทริกซ์
Columnar Grain	=	ลักษณะการแข็งตัวเป็นแบบกิ่งไม้
Cold Working	=	การขึ้นรูป
Cold Working	=	การขึ้นรูปเย็น
Cooling System	=	ระบบน้ำหล่อเย็น
Distortion	=	การบิดงอผิดรูป
Direct Current Straight Polarity	=	กระแสตรงขั้วตรง
Direct Current Reverse Polarity	=	กระแสตรงกลับขั้ว
Deep Penetration – Narrow Weld	=	รูปร่างแนวเชื่อมแคบและการซึมลึกมาก
Duplex stainless steel	=	เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์
Elongation	=	ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว
Electrode Tungsten	=	อิเล็กโทรดทังสเตน
Experimental design	=	การทดลองเชิงวิจัย
Ferrite Stainless Steel	=	เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก
Ferrous Metals	=	โลหะประเภทเหล็ก

## ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

FCAW	=	กระบวนการเชื่อมอาร์คไส้ฟลักซ์
Filler Metal	=	การเติมลวดเชื่อม
Filler Metal	=	ลวดเชื่อม
Gas Tungsten Arc Welding	=	กระบวนการเชื่อมแบบแก๊สปกคลุม
Ground Clamp	=	การจับยึดของสายดิน
Generator	=	เครื่องเชื่อมที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์หรือเครื่องยนต์
GMAW	=	กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม
High Alloys	=	โลหะกลุ่มผสมสูง
Heat Input	=	พลังงานความร้อนที่แนวเชื่อม
High Alloy Grade	=	เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดสูง
Hot Crack	=	รอยแตกร้าวขณะแข็งตัว
Hot Crack	=	รอยแตกร้าวขณะแข็งตัว
High Frequency	=	กระแสไฟฟ้าความถี่สูง
Hot Crack	=	รอยแตกร้าวขณะแข็งตัว
He	=	แก๊สฮีเลียม
Heat Treatment	=	กรรมวิธีการทางความร้อน
HAZ	=	เขตอิทธิพลความร้อน
Helium	=	แก๊สฮีเลียม
Inert Gas	=	แก๊สเฉื่อย
Intermetallic Phase	=	เกิดเป็นเฟสโลหะผสม
Impact Strength Properties	=	ความต้านทานต่อแรงกระแทก
Intermetallic Phase	=	การเกิดการตกผลึกของสารประกอบเชิงโลหะ
Low – Temperature Toughness	=	ความเหนียวที่อุณหภูมิต่ำ
Mo	=	โมลิบดีนัม
Melting Point	=	จุดหลอมละลาย
More Resistant to Corrosion	=	แนวเชื่อมที่แข็งแรงทนต่อการกัดกร่อน
More Ductile	=	ความเหนียว
Morphology	=	รูปร่างลักษณะของโครงสร้าง
Metal Transfer	=	การส่งถ่ายน้ำโลหะ

## ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

Non Consumable Electrode	=	ทั้งสแตนอิลีก โทรคที่ไม่ละลายหรือสิ้นเปลือง
Non Ferrous Metals	=	โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก
Permanent Deformation or Offset	=	การแปรรูปถาวร
Penetration	=	การหลอมละลายลึก
Passive State	=	ด้านการกัดกร่อน
Pure Tungsten	=	ทั้งสแตนบริสุทธิ์
Power Source	=	เครื่องเชื่อม
PSI	=	หน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว
Power Source	=	เครื่องเชื่อม
Range	=	การกำหนดเป็นแบบช่วง
Regulator	=	แก๊สปกคลุม
Regulator with Flow Meter	=	มาตรวัดปริมาณการไหลของแก๊ส
Regulator	=	อุปกรณ์ปรับความดันแก๊ส
SMAW	=	กระบวนการเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์
Sour service	=	บริเวณที่มีความเปรี้ยว
Solid State Transformation	=	การเปลี่ยนรูป ในสภาวะของแข็ง
SAW	=	กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ผงฟลักซ์
Stress Corrosion Cracking	=	การกัดกร่อนเนื่องจากความเค้น
Strength	=	ความแข็งแรงของวัสดุ
Shielding Gas	=	แก๊สปกคลุม
Stress	=	ความเค้น
Shielding Gas	=	อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมรอยเชื่อม
Strengthening Precipitates	=	การตกตะกอน
Spatter	=	เม็ดโลหะ
Shielding Gas	=	แก๊สปกคลุม
SMAW	=	กระบวนการเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์
SAW	=	กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ผงฟลักซ์
SMAW	=	กระบวนการเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์
Shallow Penetration Wide Weld	=	รูปร่างแนวเชื่อมกว้างและการซึมลึกตื้น

## ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

Toughness	=	คุณสมบัติด้านความเหนียว
Thinner-Well Thickness	=	วัสดุที่มีความหนาน้อย
TTT-Diagram	=	ไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงเวลา-อุณหภูมิ
Tensile Strength Properties	=	คุณสมบัติความต้านทานแรงดึง
Torch	=	หัวเชื่อม
Thermal Cycle	=	วัฏจักรอุณหภูมิ
Travel Speed	=	ความเร็วในการเชื่อม
Tungsten Welding Electrode	=	อิเล็กโทรดทังสเตน
Ultimate	=	ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด
Ultimate Strength	=	ความเค้นแรงดึง
Vickers Hardness Test	=	การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์
Weldability	=	ความสามารถในการเชื่อม
Width	=	ระยะความกว้าง
Welding Current	=	กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม
Width	=	ระยะความกว้าง
Weld metal	=	เนื้อรอยเชื่อม
Weld Speed	=	ความเร็วในการเชื่อม
Welding Metallurgy	=	โลหะวิทยาในรอยเชื่อม
Weld Metal	=	โลหะเนื้อแนวเชื่อม
Welding Torch and Equipment	=	หัวเชื่อมและอุปกรณ์ประกอบ
Water-Cooled Torch	=	ระบายความร้อนด้วยน้ำ
Work Hardening	=	การทำให้โลหะบริสุทธิ์หรือโลหะผสม
Work Hardening	=	การทำให้โลหะบริสุทธิ์หรือโลหะผสม
Yield Strength	=	จุดคราก
σ Phase	=	ซิกมาเฟส

## รายการสัญลักษณ์

B	=	แรงลอยตัว
E	=	แรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
ER	=	Electrode Rod
FN	=	Ferrite Number
H	=	ประสิทธิภาพของการเชื่อม
H <sub>2</sub>	=	ไฮโดรเจน
M	=	แรงจากแรงดึงผิวของโลหะเหลว
N <sub>2</sub>	=	ไนโตรเจน
O <sub>2</sub>	=	ออกซิเจน
q	=	ความหนาแน่นของพลังงาน
R	=	ระยะรัศมีจากจุดอาร์ค
T	=	อุณหภูมิ
$\rho$	=	ความหนาแน่น
$\gamma$	=	สัมประสิทธิ์แรงดึงผิว