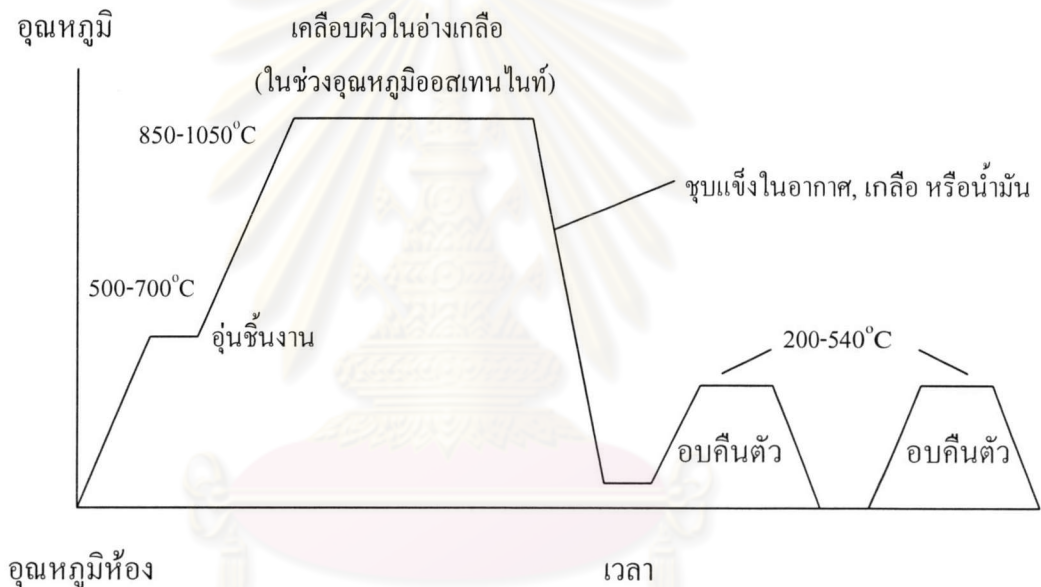


บทที่ 2

ปริิทรศน์วรรณกรรม

2.1 การเคลือบด้วยกระบวนการที่ดี

การเคลือบด้วยกระบวนการที่ดีเป็นวิธีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบและการแพร์ซิมด้วยปฏิกิริยาทางความร้อน ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการที่ดีแสดงในรูปที่ 2.1

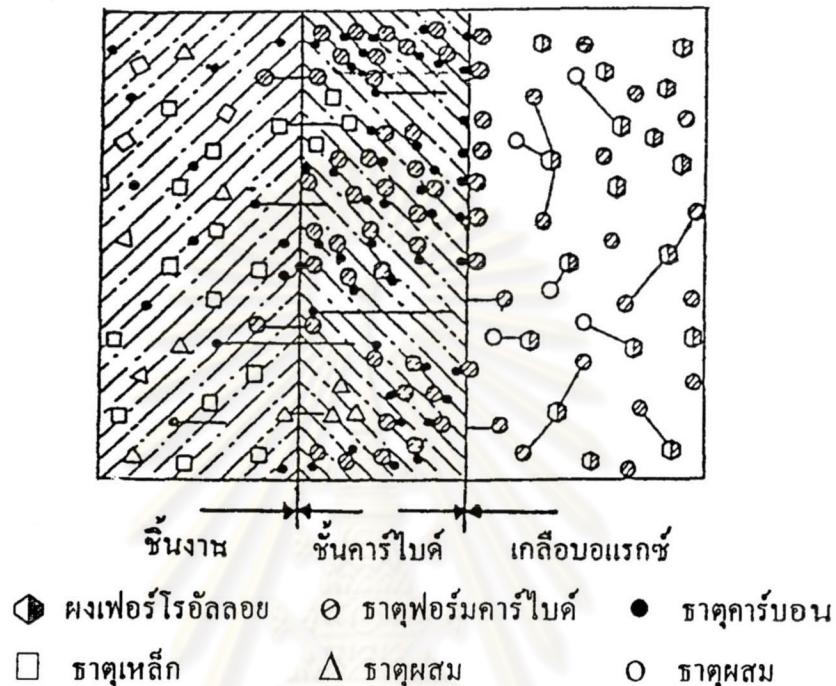


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการที่ดี (3)

กระบวนการการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยวิธีที่ดีนั้นจะมีการอุ่นชิ้นงานก่อนทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิประมาณ 500-700°C เพื่อที่จะลดการบิดเบี้ยว (distortion) ของชิ้นงาน โดยที่กระบวนการเคลือบผิวที่ดีจะทำการเคลือบที่อุณหภูมิประมาณ 850-1050°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ชิ้นงานมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ (austenitizing temperature) ของเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ, เหล็กกล้าคาร์บูไรซิงและเหล็กกล้าเครื่องมือ โดยภายหลังการเคลือบผิวแล้วสามารถที่จะทำการชุบแข็ง (quenching) และอบคืนตัว (tempering) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลภายในเนื้อชิ้นงานได้ทันที

หลักการของการเกิดชั้นเคลือบแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยผงเฟอร์โรอัลลอยที่เติมลงในอ่างเกลือจะละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวทำให้อะตอมของธาตุที่จะฟอร์มคาร์ไบด์กระจายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวและรวมตัวกันกับอะตอมของธาตุคาร์บอนที่แพร์ซิมออกมา

จากภายในเนื้อโลหะมาที่ผิวเกิดเป็นชั้นคาร์ไบด์ขึ้น โดยที่ความหนาของชั้นเคลือบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอ่างเกลือ, เวลาในการเคลือบผิว, ชนิดของวัสดุที่นำมาเคลือบ (โดยเฉพาะปริมาณคาร์บอน) และชนิดของชั้นคาร์ไบด์



รูปที่ 2.2 หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนชิ้นงานด้วยกระบวนการเคลือบ ทีดี(1)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

T. Arai และ S. Harper (4) ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความหนาของชั้นเคลือบพบว่าความหนาของชั้นเคลือบคาร์ไบด์ที่ได้จากกระบวนการเคลือบผิวที่ดีว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเคลือบ, เวลาในการเคลือบ, ชนิดของเหล็กที่นำมาทำการเคลือบผิวและชนิดของชั้นคาร์ไบด์ โดยแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการเคลือบผิวต่อความหนาชั้นเคลือบคาร์ไบด์ดังสมการที่ (1)

$$d^2/t = K = K_0 \exp(-Q/RT) \quad \text{-----} \quad (1)$$

d = ความหนาชั้นเคลือบ (ซ.ม.)

t = เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว (วินาที)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (ซ.ม.²/วินาที)

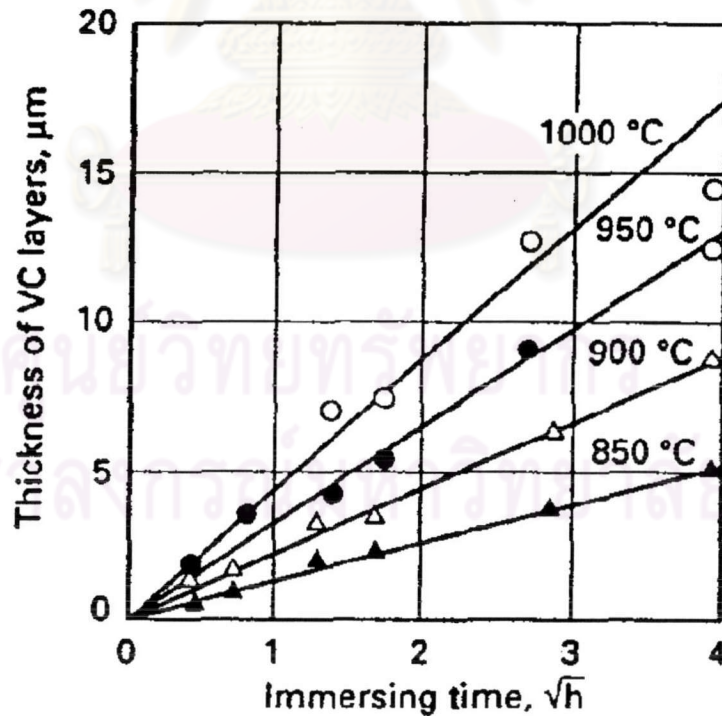
K_0 = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (ซ.ม.²/วินาที)

Q = พลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/โมล)

T = อุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิว (เคลวิน)

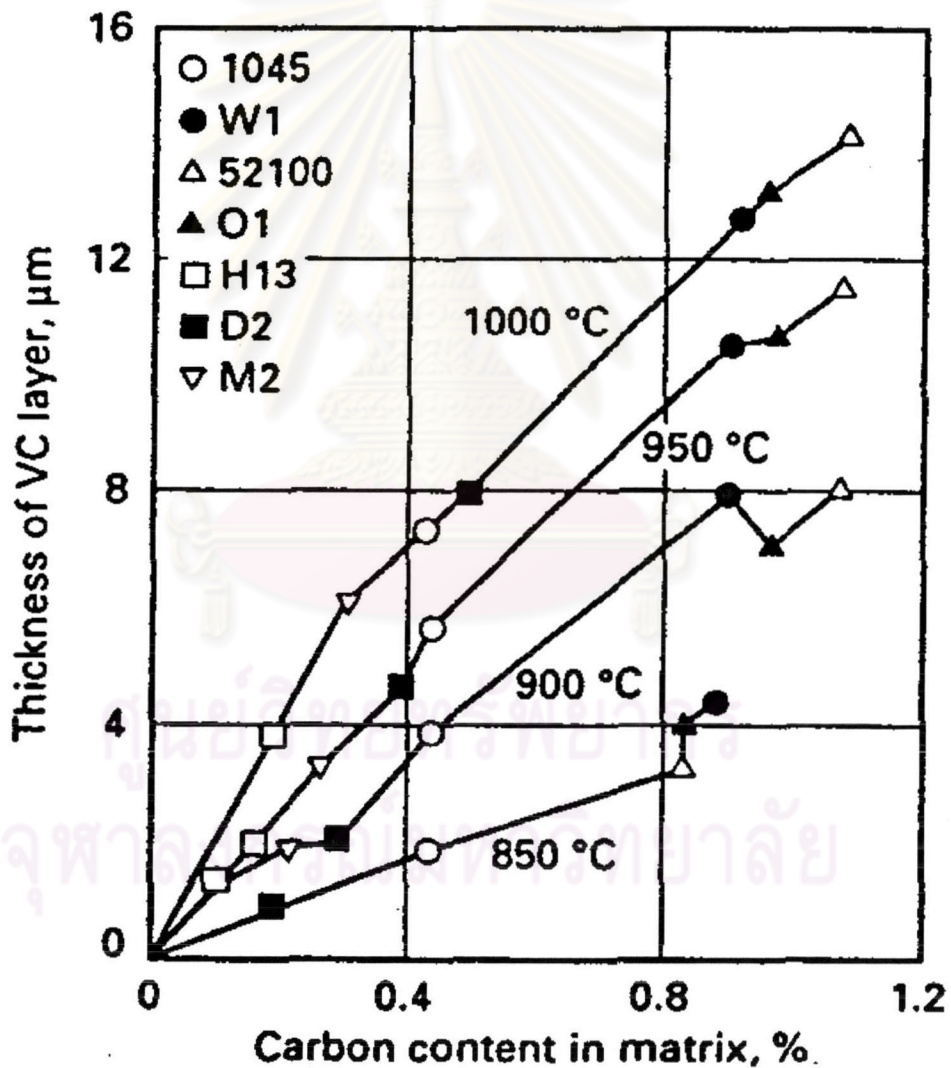
โดยค่า Q ที่ใช้ได้จากการทดลองสำหรับวานาเดียมคาร์ไบด์ ในโอเบียมคาร์ไบด์ และโครเมียมคาร์ไบด์ มีค่าประมาณ 192, 209 และ 167 กิโลจูล/โมลตามลำดับ ค่า R คือค่าคงที่ของก๊าซมีค่าเท่ากับ 8.314 จูล/โมล-เคลวิน และค่า K_0 มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าเพิ่มมากขึ้น

T. Arai และ S. Harper (3) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเคลือบต่อความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ โดยการทดลองนี้ใช้เหล็กกล้าเครื่องมือ W1 เป็นเหล็กที่ทำการเคลือบในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมผงเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3

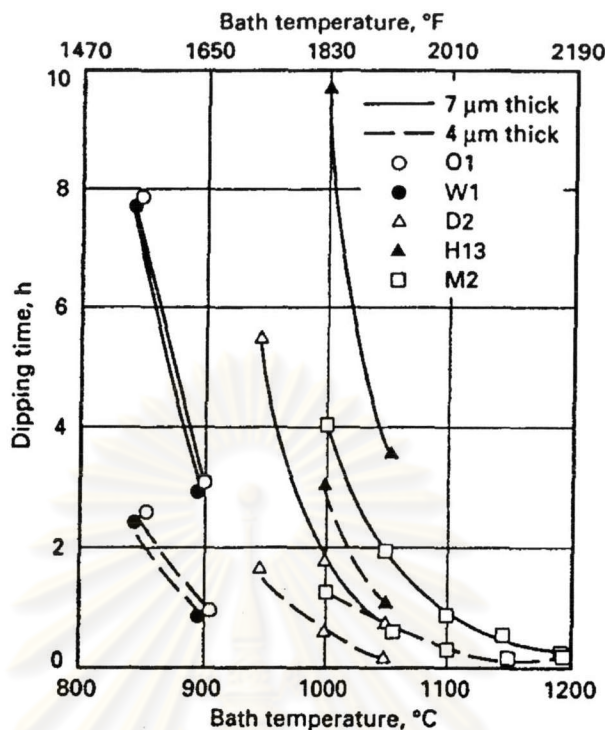


รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์บนเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ความหนาชั้นเคลือบยังขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้น ออสเทนไนท์ (austenite matrix) จากการทดลองพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ และอุณหภูมิการเคลือบผิว โดยถ้าปริมาณคาร์บอนหรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนามากขึ้นด้วย โดยเหล็กกล้าผสมถ้ามีอุณหภูมิสูงจะเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นออสเทนไนท์ซึ่งมีผลทำให้อัตราการแพร่ของอะตอมคาร์บอนในเนื้อเหล็กเพิ่มขึ้นและจะทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.4 นอกจากนี้เวลาในการเคลือบให้ได้ความหนาที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำการเคลือบด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ในเคลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเคลือบผิวนาน 4 ชั่วโมง



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือและชนิดของเหล็กต่อเวลาในการเคลือบที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์หนา 7 และ 4 ไมโครเมตรในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว

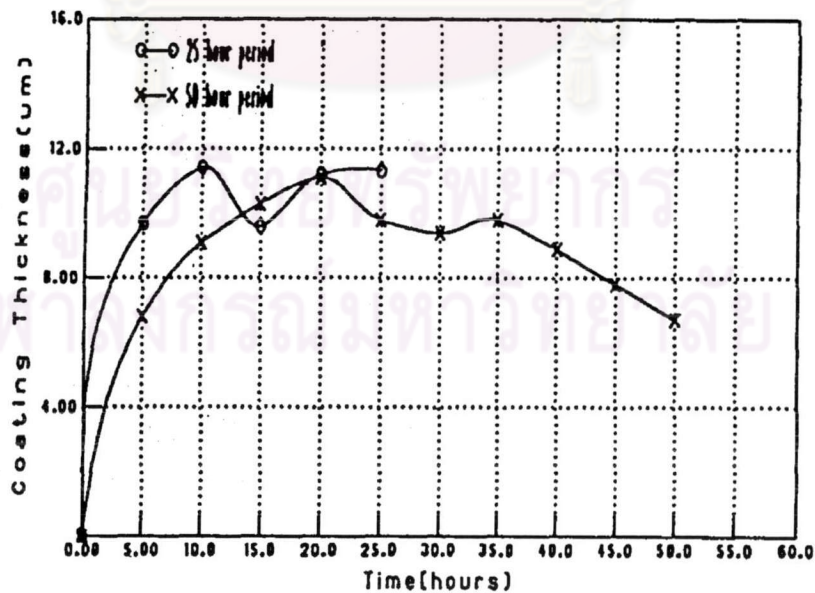
H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott (5) ได้ทำการศึกษาการเคลือบผิวโดยใช้ผงเฟอร์โรวานาเดียมในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวพบว่าเฟอร์โรวานาเดียมมิได้ถูกละลายในรูปโลหะในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวแต่จะถูกออกซิไดซ์ก่อนและละลายอยู่ในรูปออกไซด์โดยวานาเดียมละลายอยู่ได้ 2 รูปแบบคือ V_2O_3 ซึ่งมีเสถียรภาพน้อยและ V_2O_5 ที่มีเสถียรภาพสูงโดยมีค่าพลังงานอิสระในการเกิดออกไซด์ -109 และ -124 กิโลแคลอรีต่อกรัม โมลของวานาเดียมตามลำดับออกไซด์ที่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนให้ชั้นเคลือบได้คือ V_2O_3 ส่วน V_2O_5 ไม่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนให้ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ได้ ซึ่ง H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott (5) ได้ทดลองทำการเคลือบผิวโดยใช้บอแรกซ์ 1 กิโลกรัมกับผงเฟอร์โรวานาเดียมจำนวน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำการให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นออกซิไดซิงรุนแรงจะไม่เกิดขึ้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์แสดงว่าวานาเดียมละลายอยู่ในรูปของ V_2O_5 ซึ่งเกิดในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนสูงและได้ทำการทดลองต่อโดยใช้ก๊าซอาร์กอนปกคลุมในขณะที่ทำการเคลือบผิวเพื่อป้องกันสภาวะที่เป็นออกซิไดซิงรุนแรงพบว่าเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์แสดงว่าวานาเดียมละลายอยู่ในรูปของ V_2O_3 โดยการออกซิเดชันเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างเกลือบอแรกซ์และอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอ่างเกลือถูกกวน ความสามารถในการละลายในรูปของออกไซด์ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวของวานาเดียม, ไนโอเบียมและโครเมียมในหน่วยของ

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งอัตราการละลายขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ปริมาณของผงเฟอร์โรอัลลอยที่เติมลงไป ลักษณะทางกายภาพของผง (ขนาดของผง), อุณหภูมิของอ่างเกลือ, สภาวะการเกิดออกซิไดซ์และการกวน

อุณหภูมิ (°C)	วานเดียม (wt %)	ไนโอเบียม (wt %)	โครเมียม (wt %)
900	1.4	-	1.4
950	1.8	3.5	3.6
1000	2.4	-	-
1050	2.8	3.9	4.5

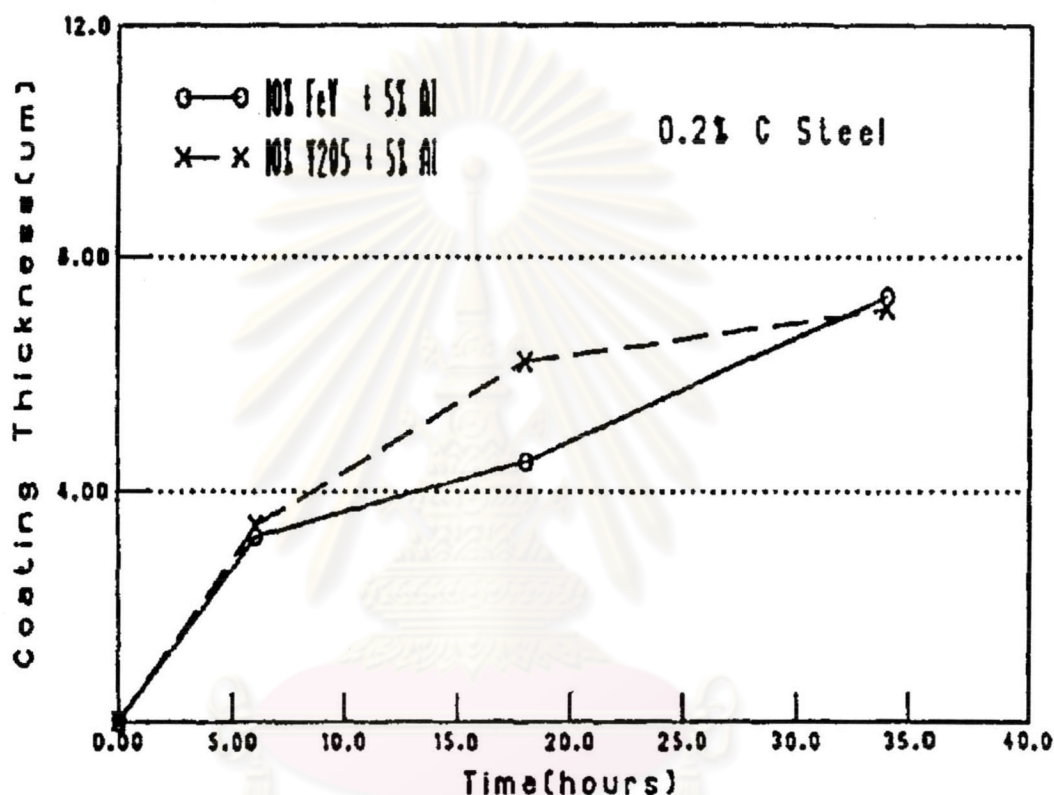
ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการละลายของธาตุที่ฟอร์แมคาร์ไบด์ในบอแรกซ์ (5)

S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาของอ่างเกลือบอแรกซ์ต่อความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์โดยคงสภาพอ่างเกลือบอแรกซ์ที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 25 หรือ 50 ชั่วโมงและทำการเคลือบผิวชิ้นงานที่มีปริมาณคาร์บอน 0.5% C เป็นเวลาชิ้นละ 5 ชั่วโมงต่อกันไปเรื่อยๆ จนครบ 25 หรือ 50 ชั่วโมงโดย 10 ชั่วโมงแรกความหนาชั้นเคลือบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และคงที่เป็นเวลา 25 ชั่วโมงหลังจากชั่วโมงที่ 35 ความหนาชั้นเคลือบจะเริ่มลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.6



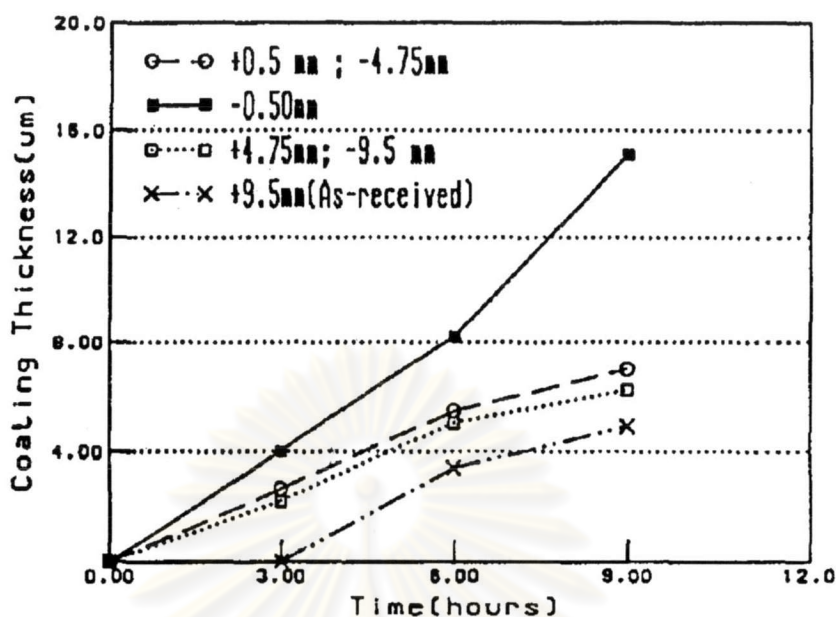
รูปที่ 2.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาทำปฏิกิริยาของอ่างเกลือเป็นเวลา 25 และ 50 ชั่วโมงโดยเคลือบเป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 950 °C

S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารที่ใช้ฟอร์มคาร์ไบด์โดยเปรียบเทียบระหว่าง Fe-V และ V_2O_5 ใช้เวลาในการเคลือบ 6, 12 และ 16 ชั่วโมงต่อเนื่องกันตามลำดับพบว่าช่วงแรกทั้ง Fe-V และ V_2O_5 มีความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เท่ากัน ช่วงที่สองชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ใช้ V_2O_5 มีความหนามากกว่าและช่วงสุดท้ายความหนาชั้นเคลือบมีแนวโน้มลดลงจนมีความหนาใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลของการเปรียบเทียบชนิดของสารฟอร์มคาร์ไบด์ระหว่าง FeV และ V_2O_5 ที่อุณหภูมิ 1000°C

S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ได้ทำการศึกษานาฬิกาของความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์โดยทำการแปรผันขนาดของผง V_2O_5 ที่ใช้เป็นสารฟอร์มคาร์ไบด์พบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์จะขึ้นอยู่กับขนาดของผง V_2O_5 ที่ใช้โดยผงที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดชั้นเคลือบที่หนากว่าผงที่มีขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลของขนาดของผงต่อความหนาชั้นเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C โดยใช้เวลาเคลือบ 3, 6 และ 9 ชั่วโมง

นอกจากนี้ S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ยังได้ศึกษาเคลือบอบแรกซ์ที่ประกอบด้วย 10% V_2O_5 และ 5% Al พบ V_2O_3 เกิดขึ้นในเคลือบอบแรกซ์สอดคล้องกับการทดลองของ H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott (5) เป็นการยืนยันว่าออกไซด์ของวาเนเดียมที่ทำให้เกิดชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ได้นั้นต้องอยู่ในรูป V_2O_3

ประสงค์และคณะ (1) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อการเกิดชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2, H13 และ M2 ด้วยกระบวนการที่ดีโดยใช้ปริมาณเฟอร์โรวาเนเดียม 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอ่างเคลือบอบแรกซ์หลอมเหลวโดยแปรผันเวลาในการเคลือบ 1 ถึง 9 ชั่วโมงพบว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบในอ่างเคลือบที่เติมอะลูมิเนียมเป็นรีดิวเซอร์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะเกิดชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ขึ้นส่วนชิ้นงานที่ทำการเคลือบโดยไม่ใช้รีดิวเซอร์จะไม่เกิดชั้นเคลือบ ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ T. Arai และ S. Harper (3) ที่ทำการทดลองการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 โดยใช้ผงเฟอร์โรวาเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอ่างเคลือบอบแรกซ์หลอมเหลวซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดชั้นเคลือบถูกควบคุมด้วยอัตราการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอน

สุรพล พรนิมิตรธรรม (7) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเคลือบผิวด้วยไนโอเบียมคาร์ไบด์บนเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 และ H13 โดยกระบวนการที่ดีพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดในการ

เกิดขึ้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์คือเดิมเฟอร์โรไนโอเบียม 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและอะลูมิเนียม 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโดยถ้าไม่เติมอะลูมิเนียมลงในอ่างเกลือเลยจะไม่เกิดขึ้นเคลือบ แต่ถ้าเติมอะลูมิเนียมมากเกินไปก็จะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาลดลงและถ้าเติมมากเกินไปจะไม่เกิดขึ้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์เลยแต่จะเกิดขึ้นเหล็กบอไรด์แทนเนื่องจากปริมาณรีดิวเซอร์ที่มากเกินไปที่เหลือจากการรีดิวซ์ Nb_2O_5 จะไปรีดิวซ์ B_2O_3 ซึ่งโบรอนมีขนาดอะตอมเล็กจึงแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อเหล็กเกิดเป็นชั้นเหล็กบอไรด์ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอนจากในเนื้อชิ้นงานไปที่ผิวทำให้ไนโอเบียมไม่สามารถจับตัวกับคาร์บอนให้เป็นชั้นเคลือบคาร์ไบด์ได้ ความหนาชั้นเคลือบขึ้นอยู่กับปริมาณไนโอเบียมที่ละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวถ้าไนโอเบียมละลายไม่หมดตัวในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวจะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาน้อยลง

ปฏิภาณ จ้อยเจิม (8) ได้ศึกษาอิทธิพลของรีดิวเซอร์ต่อการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 และ H13 ด้วยวานาเดียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการที่ดีซึ่งรีดิวเซอร์ที่ใช้ทดลองคือเฟอร์โรซิลิคอน, เฟอร์โรไทเทเนียมและเฟอร์โรแมงกานีสในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ โดยแปรผันเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 9 ชั่วโมงพบว่าเกิดขึ้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้นทุกๆ รีดิวเซอร์ที่ใช้โดยความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ T. Arai และ S. Harper (3) และการทดลองของประสงค์และคณะ (1) จากการทดลองขอ ปฏิภาณ จ้อยเจิมพบว่าเฟอร์โรซิลิคอน, เฟอร์โรไทเทเนียมและเฟอร์โรแมงกานีสปริมาณที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

ชัยวัฒน์ จงประสิทธิผล (9) ได้ศึกษาผลของปริมาณวานาเดียมที่ละลายในบอแรกซ์หลอมเหลวต่อการเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการที่ดีพบว่าการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นการเร่งกระบวนการออกซิเดชัน แต่ถ้าทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวมากเกินไปจะเกิดวานาเดียมออกไซด์ในรูป V_2O_5 มากกว่าในรูป V_2O_3 ซึ่งออกไซด์ในรูป V_2O_5 ต้องถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูป V_2O_3 หรือวานาเดียมอิสระก่อนจึงจะสามารถรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนกลายเป็นชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ได้ การกวนบอแรกซ์หลอมเหลว 5 นาทีและแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเป็นการกวนให้เฟอร์โรวานาเดียมฟุ้งในบอแรกซ์หลอมเหลวแล้วแช่ไว้ให้ค่อยๆ เกิดกระบวนการออกซิเดชันดังนั้นวานาเดียมออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป V_2O_3 ซึ่งสามารถรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนเป็นชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ได้เลยจึงได้ความหนาชั้นเคลือบใกล้เคียงกันกับการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวถึง 3 ชั่วโมง