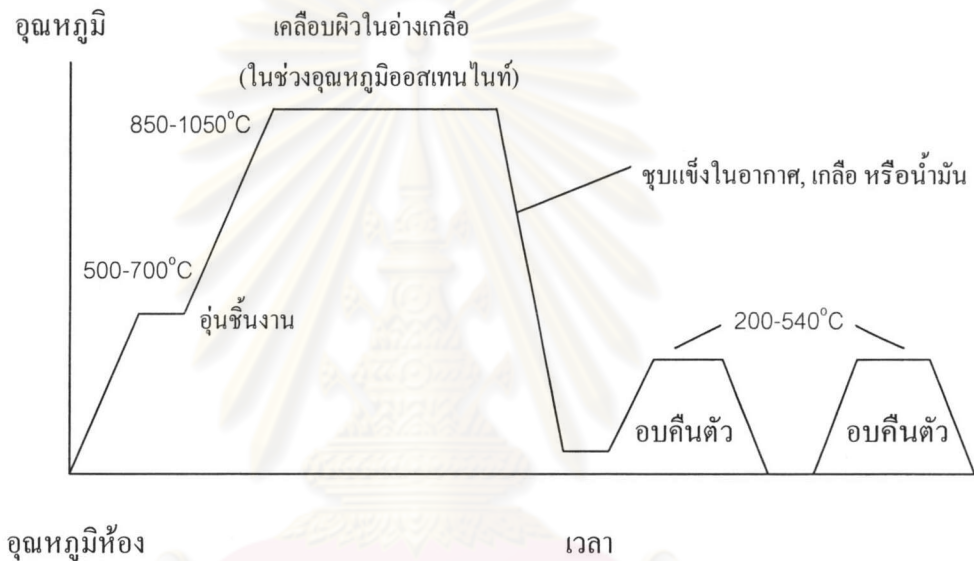


บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรม

การเคลื่อนด้วยกระบวนการ TD

การเคลื่อนด้วยกระบวนการ TD เป็นวิธีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลื่อนและการแพร่ซึมด้วยปฏิกิริยาทางความร้อน ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TD แสดงในรูปที่ 2.1

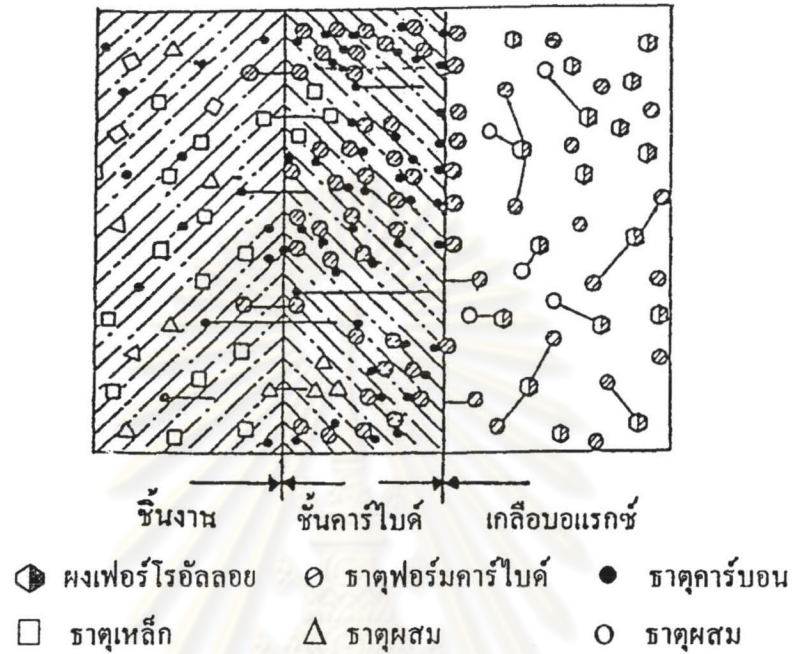


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TD (3)

กระบวนการการเคลื่อนผิวชิ้นงานด้วยวิธี TD นั้นจะมีการอุ่นชิ้นงานก่อนทำการเคลื่อนผิวที่อุณหภูมิประมาณ 500-700°C เพื่อที่จะลดการบิดเบี้ยว (distortion) ของชิ้นงาน โดยที่กระบวนการเคลื่อนผิว TD จะทำการเคลื่อนที่อุณหภูมิประมาณ 850-1050°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ชิ้นงานมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ (austenitizing temperature) ของเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ, เหล็กกล้าคาร์บูไรซิง และเหล็กกล้าเครื่องมือ โดยภายหลังการเคลื่อนผิวแล้วสามารถที่จะทำการชุบแข็ง (quenching) และอบคืนตัว (tempering) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลภายในเนื้อชิ้นงานได้ทันที

หลักการของการเกิดชั้นเคลือบแสดงไว้ใน รูปที่ 2.2 โดยผงเฟอร์ไรต์ลอสที่เติมลงในอ่างเกลือจะละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์ที่หลอมเหลว ทำให้อะตอมของธาตุที่จะฟอร์มคาร์ไบด์

กระจายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว และรวมตัวกันกับอะตอมของธาตุคาร์บอนที่แพร่ซึมออกมาจากภายในเนื้อโลหะมาที่ผิวเกิดเป็นชั้นคาร์ไบด์ขึ้น โดยที่ความหนาของชั้นเกลือบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอ่างเกลือ, เวลาในการเคลือบผิว, ชนิดของวัสดุที่นำมาเคลือบ (โดยเฉพาะปริมาณคาร์บอน) และชนิดของชั้นคาร์ไบด์



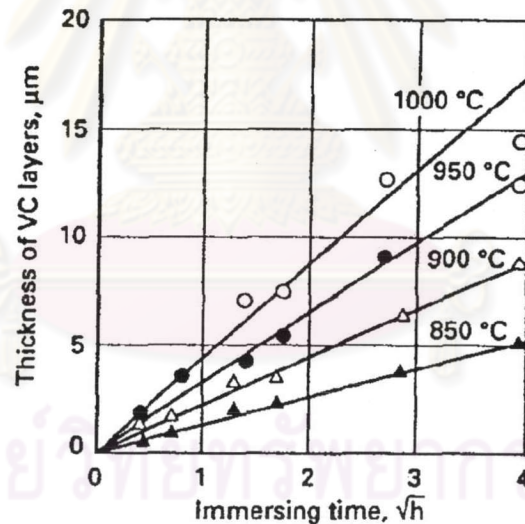
K_0 = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (ซ.ม.²/วินาที)

Q = พลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/โมล)

T = อุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิว (เคลวิน)

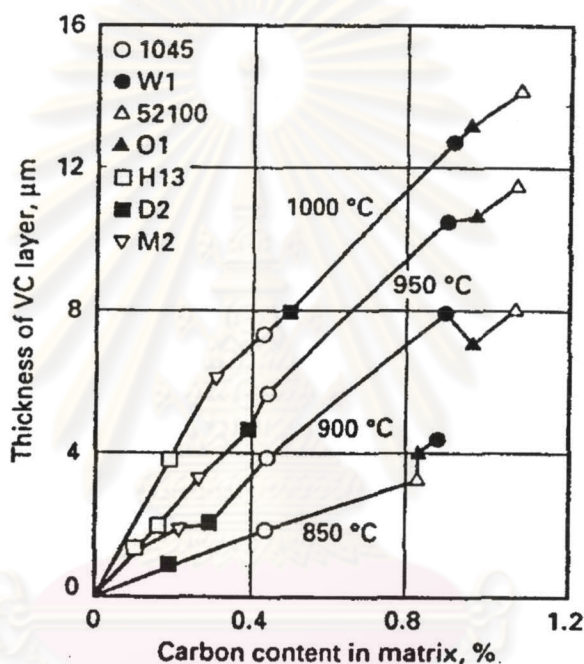
โดยค่า Q ที่ได้จากการทดลอง สำหรับวาเนเดียมคาร์ไบด์ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ และโครเมียมคาร์ไบด์ มีค่าประมาณ 192, 209 และ 167 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ ค่า R คือค่าคงที่ของก๊าสมีค่าเท่ากับ 8.314 จูล/โมล-เคลวิน และค่า K_0 มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าเพิ่มมากขึ้น

T. Arai และ S. Harper (3) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในการเคลือบต่อความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ โดยการทดลองนี้ใช้เหล็กกล้าเครื่องมือ W1 เป็นเหล็กที่ทำการเคลือบในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมผงเฟอร์โรวานเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว และเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



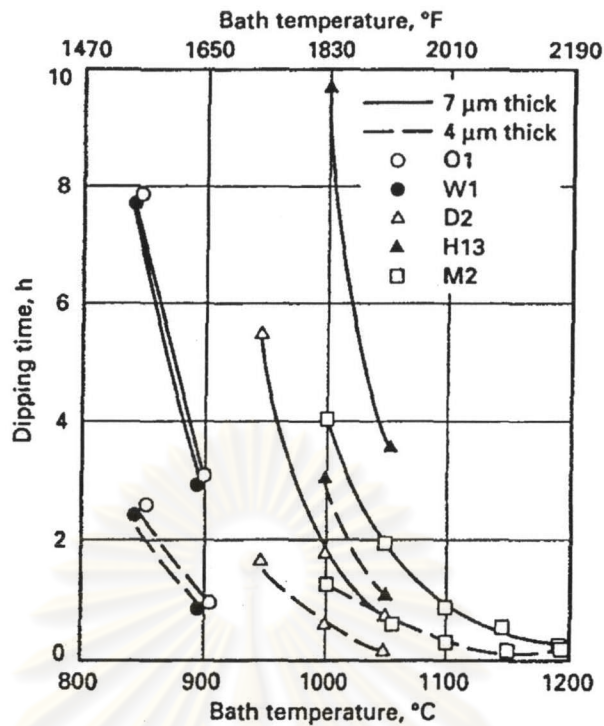
รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิและเวลา ต่อความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ บนเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวานเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ความหนาชั้นเคลือบยังขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้น ออสเทนไนต์ (austenite matrix) จากการทดลองพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ และอุณหภูมิการเคลือบผิว โดยถ้า ปริมาณคาร์บอน หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนามากขึ้นด้วย โดยเหล็กกล้า ผสมถ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นออสเทนไนต์ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการ แพร่ของอะตอมคาร์บอนในเนื้อเหล็กเพิ่มขึ้น และจะทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 นอกจากนี้เวลาในการเคลือบให้ได้ความหนาที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ทำการเคลือบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบ วานเนเดียมคาร์ไบด์ ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีฟลูออโรโรวานเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเคลือบผิวนาน 4 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือ และชนิดของเหล็ก ต่อเวลาในการเคลือบที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์หนา 7 และ 4 ไมโครเมตร ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว

H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott (5) ได้ทำการศึกษาการเคลือบผิวโดยใช้ผงเฟอร์โรวานาเดียม ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว พบว่าเฟอร์โรวานาเดียมมิได้ถูกละลายในรูปโลหะในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว แต่จะถูกออกซิไดซ์ก่อน และละลายอยู่ในรูปออกไซด์ โดยวานาเดียมละลายอยู่ได้ 2 รูปแบบ คือ V_2O_3 ที่มีเสถียรภาพน้อย และ V_2O_5 ที่มีเสถียรภาพสูง โดยมีค่าพลังงานอิสระในการเกิดออกไซด์ -109 และ -124 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล ของวานาเดียมตามลำดับ ออกไซด์ที่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนให้ชั้นเคลือบได้ คือ V_2O_3 ส่วน V_2O_5 ไม่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนให้ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ได้ ซึ่ง H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott (5) ได้ทดลองทำการเคลือบผิวโดยใช้บอแรกซ์ 1 กิโลกรัม กับผงเฟอร์โรวานาเดียมจำนวน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำการให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นออกซิไดซ์รุนแรงจะไม่เกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ แสดงว่าวานาเดียมละลายอยู่ในรูปของ V_2O_5 ซึ่งเกิดในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนสูง และได้ทำการทดลองต่อโดยใช้ก๊าซอาร์กอนปกคลุมในขณะที่ทำการเคลือบผิวเพื่อป้องกันสภาวะที่เป็นออกซิไดซ์รุนแรงพบว่าเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์แสดงว่าวานาเดียมละลายอยู่ในรูปของ V_2O_3 โดยการออกซิเดชันเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง เกลือบอแรกซ์ และอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอ่างเกลือถูกควม ความสามารถในการละลายในรูปของ

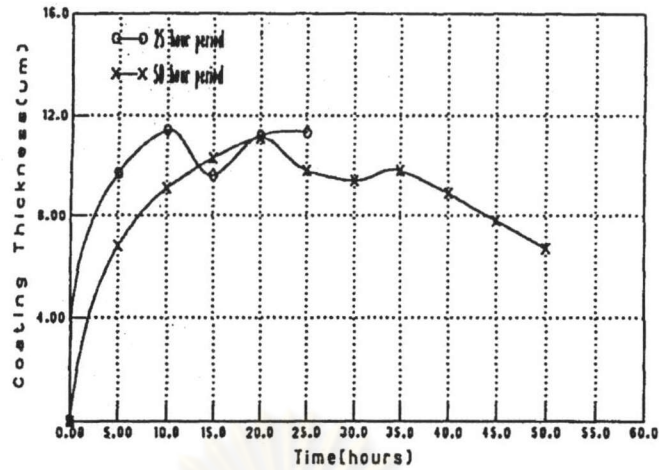
ออกไซด์ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวของ วานเดียม ไนโอเบียม และโครเมียม ในหน่วยของ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งอัตราการละลายขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆดังนี้ ปริมาณของผงเฟอร์ไรต์ลอยที่เติมลงไป ลักษณะทางกายภาพของผง (ขนาดของผง) อุณหภูมิของ อ่างเกลือ สภาพการเกิดออกซิไดซ์ และการกวน

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 ความสามารถในการละลายของธาตุที่ฟอร์มคาร์ไบด์ในบอแรกซ์ (5)

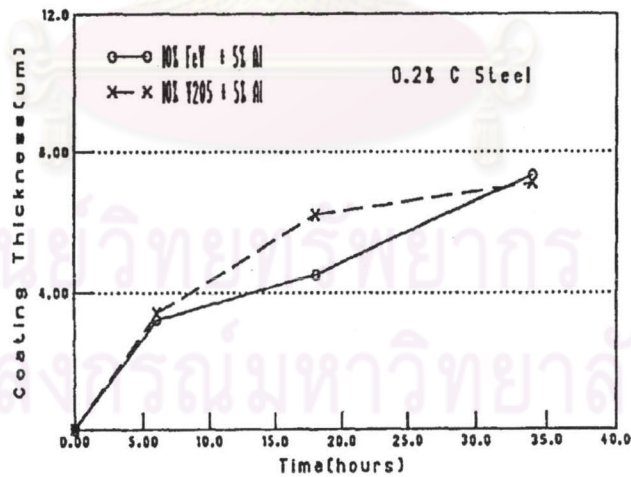
S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลา ในการทำปฏิกิริยาของอ่างเกลือบอแรกซ์ต่อความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์โดยคงสภาพ อ่างเกลือบอแรกซ์ที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 25 หรือ 50 ชั่วโมง และทำการเคลือบผิวชิ้นงานที่มี ปริมาณคาร์บอน 0.5% C เป็นเวลาขึ้นละ 5 ชั่วโมง ต่อกันไปเรื่อยๆ จนครบ 25 หรือ 50 ชั่วโมง โดย 10 ชั่วโมงแรกความหนาชั้นเคลือบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และคงที่เป็นเวลา 25 ชั่วโมง หลังจากชั่วโมงที่ 35 ความหนาชั้นเคลือบจะเริ่มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



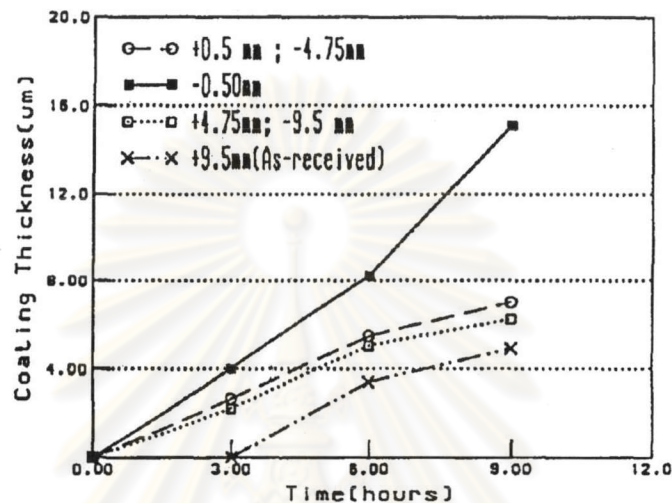
รูปที่ 2.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาทำปฏิกิริยาของอ่างเกลือ เป็นเวลา 25 และ 50 ชั่วโมง โดยเคลือบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 950°C

S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารที่ใช้ฟอร์มคาร์ไบด์ โดยเปรียบเทียบระหว่าง Fe-V และ V_2O_5 ใช้เวลาในการเคลือบ 6, 12 และ 16 ชั่วโมงต่อเนื่องกันตามลำดับ พบว่าช่วงแรกทั้ง Fe-V และ V_2O_5 มีความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เท่ากัน ช่วงที่สองชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ใช้ V_2O_5 มีความหนามากกว่า และช่วงสุดท้ายความหนาชั้นเคลือบมีแนวโน้มลดลงจนมีความหนาใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลของการเปรียบเทียบชนิดของสารฟอร์มคาร์ไบด์ระหว่าง FeV และ V_2O_5 ที่อุณหภูมิ 1000°C

S. Bhagga Fazluddin และ A. Koursaris (6) ได้ทำการศึกษานาฬิกาของความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ โดยทำการแปรผันขนาดของผง V_2O_5 ที่ใช้เป็นสารฟอร์มคาร์ไบด์ พบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์จะขึ้นอยู่กับขนาดของผง V_2O_5 ที่ใช้ โดยผงที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดชั้นเคลือบที่หนากว่าผงที่มีขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



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

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

ประสงค์ และคณะ (1) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อการเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2, H13 และ M2 ด้วยกระบวนการ TD โดยใช้ปริมาณเฟอร์โรวานาเดียม 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอ่างเคลือบแรกซ์หลอมเหลว โดยแปรผันเวลาในการเคลือบ 1 ถึง 9 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบในอ่างเคลือบที่เติมอะลูมิเนียมเป็นรีดิเวเซอร์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้น ส่วนชิ้นงานที่ทำการเคลือบโดยไม่ใช้รีดิเวเซอร์จะไม่เกิดชั้นเคลือบ พบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สอง ของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ T. Arai และ S. Harper (3) ที่ทำการทดลองการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 โดยใช้ผง

เฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดชั้นเคลือบถูกควบคุมด้วยอัตราการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอน

ศุรพล พรนิมิตรธรรม (7) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเคลือบผิวด้วยไนโอเบียมคาร์ไบด์บนเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 และ H13 โดยกระบวนการ TD พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์ คือเติมเฟอร์โรไนโอเบียม 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอะลูมิเนียม 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยถ้าไม่เติมอะลูมิเนียมลงในอ่างเกลือเลยจะไม่เกิดชั้นเคลือบ แต่ถ้าเติมอะลูมิเนียมมากเกินไปก็จะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาลดลงและถ้าเติมมากเกินไปจะไม่เกิดชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์เลย แต่จะเกิดชั้นเหล็กบอไรด์แทน เนื่องจากปริมาณรีดิวเซอร์ที่มากเกินไปที่เหลือจากการรีดิวซ์ Nb_2O_5 จะไปรีดิวซ์ B_2O_3 ซึ่งโบรอนมีขนาดอะตอมเล็กจึงแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อเหล็กเกิดเป็นชั้นเหล็กบอไรด์ ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอนจากในเนื้อชิ้นงานไปที่ผิว ทำให้ไนโอเบียมไม่สามารถจับตัวกับคาร์บอนให้เป็นชั้นเคลือบคาร์ไบด์ได้ความหนาชั้นเคลือบขึ้นอยู่กับปริมาณไนโอเบียมที่ละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ถ้าไนโอเบียมละลายไม่หมดตัวในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวจะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาน้อยลง

ปฏิภาณ จุ้ยเจิม (8) ได้ศึกษาอิทธิพลของรีดิวเซอร์ต่อการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 และ H13 ด้วยวานาเดียมคาร์ไบด์ โดยกระบวนการ TD ซึ่งรีดิวเซอร์ที่ใช้ทดลอง คือ เฟอร์โรซิลิคอน เฟอร์โรไทเทเนียม และ เฟอร์โรแมงกานีส ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ โดยแปรผันเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 9 ชั่วโมง พบว่าเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้นทุกๆ รีดิวเซอร์ที่ใช้ โดยความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ T. Arai และ S. Harper (3) และการทดลองของ ประสงค์ และคณะ (1) จากการทดลองของ ปฏิภาณ จุ้ยเจิม พบว่าปริมาณรีดิวเซอร์ เฟอร์โรซิลิคอน เฟอร์โรไทเทเนียม และ เฟอร์โรแมงกานีส ที่เหมาะสมที่ใช้เคลือบในการทดลองนี้ คือ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย