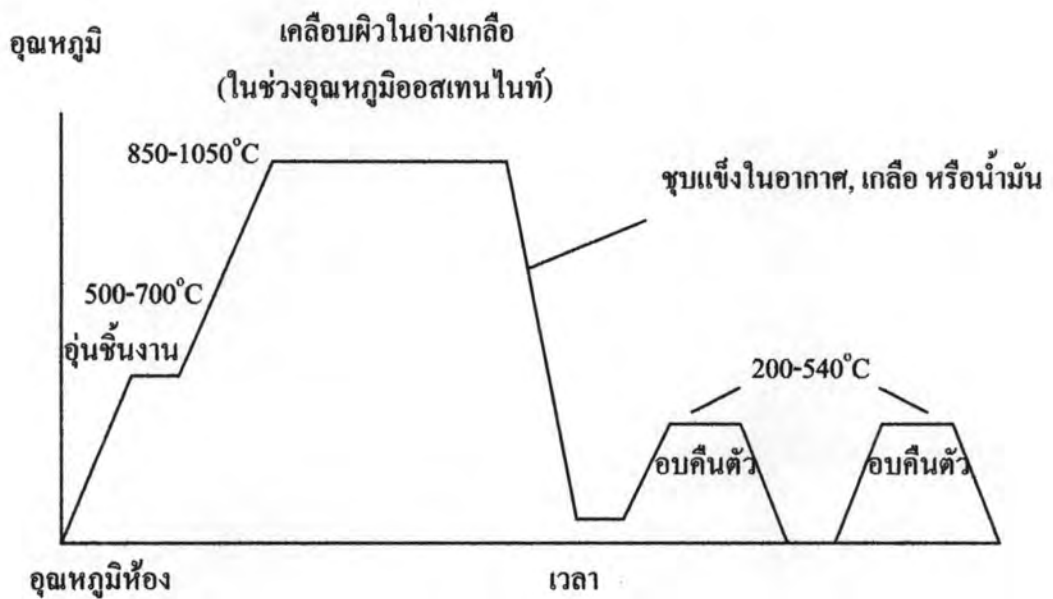


บทที่ 2 ปริทรรศน์วรรณกรรม

2.1 การเคลือบด้วยกระบวนการ TRD

การเคลือบด้วยกระบวนการ TRD เป็นวิธีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบและการแพร์ซิมด้วยปฏิกิริยาทางความร้อน ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TRD แสดงในรูปที่ 2.1

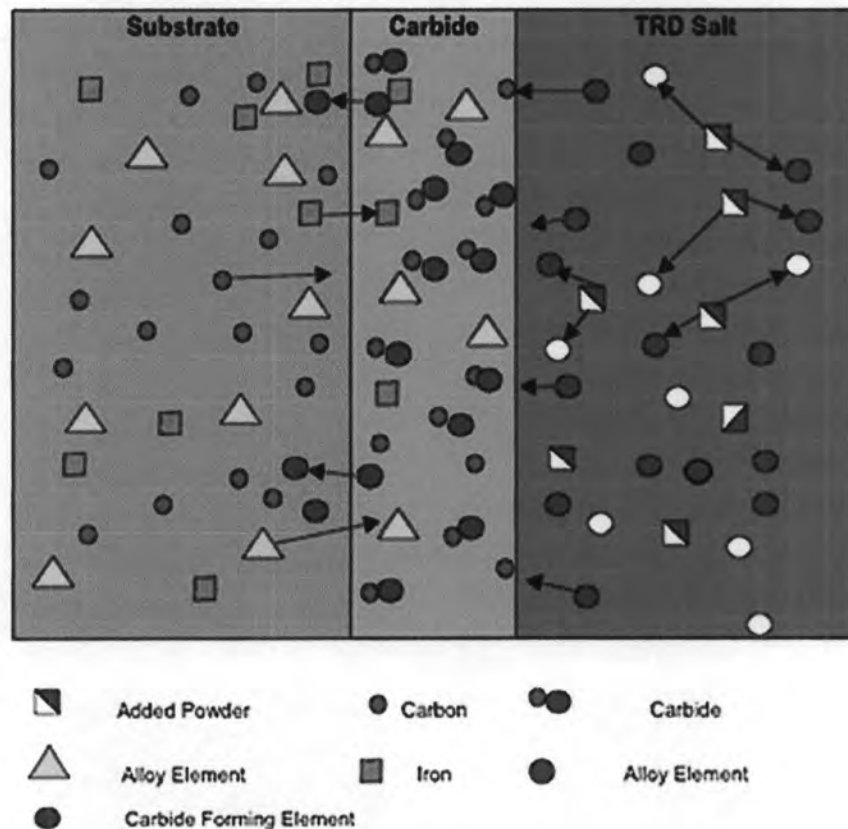


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TRD

กลไกและขั้นตอนการเคลือบผิว TRD จะทำในอ่างเกลือหลอมเหลวที่มีอุณหภูมิสูง ประมาณ 850-1050°C (1560-1920°F) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ชิ้นงานมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ (Austenitizing temperature) ของเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ, เหล็กกล้าคาร์บูไรซิ่ง และเหล็กกล้าเครื่องมือ โดยใช้เวลาในการเคลือบผิวประมาณ 0.5-10 ชั่วโมงจะได้ความหนาประมาณ 3-15 ไมครอน ก่อนที่จะผ่านกระบวนการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยกระบวนการ TRD นั้นจะมีการอุ่นชิ้นงาน ที่อุณหภูมิประมาณ 500-700 องศาเซลเซียสเพื่อที่จะลดการบิดเบี้ยว (Distortion) ของชิ้นงาน

โดยภายหลังจากการเคลือบผิวแล้วสามารถที่จะทำการชุบแข็ง (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลภายในเนื้อชิ้นงานได้ทันที

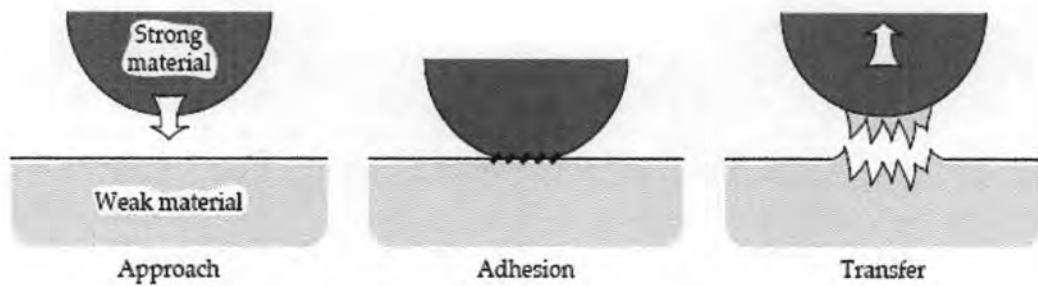
หลักการของการเกิดชั้นเคลือบแสดงไว้ใน รูปที่ 2.2 โดยผงเฟอร์โรอัลลอยที่เติมลงในอ่างเกลือจะละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ทำให้อะตอมของธาตุที่จะฟอร์มคาร์ไบด์กระจายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวและรวมตัวกันกับอะตอมของธาตุคาร์บอนที่แพร่ซึมออกมาจากภายในเนื้อโลหะมาที่ผิวเกิดเป็นชั้นคาร์ไบด์ขึ้น โดยที่ความหนาของชั้นเคลือบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอ่างเกลือ, เวลาในการเคลือบผิว, ชนิดของวัสดุที่นำมาเคลือบ (โดยเฉพาะปริมาณคาร์บอน) และชนิดของชั้นคาร์ไบด์ การเคลือบด้วยกระบวนการ TRD นั้นสามารถนำไปเคลือบบนเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนมากกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์หรือบนเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยเกินไปได้โดยการนำไปเพิ่มคาร์บอนที่ผิว (Carburizing) ก่อนนำไปเคลือบ ชั้นเคลือบที่ทำได้ในกระบวนการนี้มีชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ (VC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) และโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr_7C_3)



รูปที่ 2.2 หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนชิ้นงานด้วยกระบวนการเคลือบที่อาร์ดี

2.2 การสึกหรอแบบเกาะติด (Adhesive wear)

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากผิวหน้าสัมผัสไถล (Sliding) ซึ่งกันและกัน เกิดจุดสัมผัสที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน (cold weld) และฉีกขาดออกจากกัน โดยผิวหน้าสัมผัสหนึ่งติดอยู่กับอีกผิวหน้าสัมผัสหนึ่ง



รูปที่ 2.3 หลักการของการเกิดการสึกหรอแบบเกาะติด

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

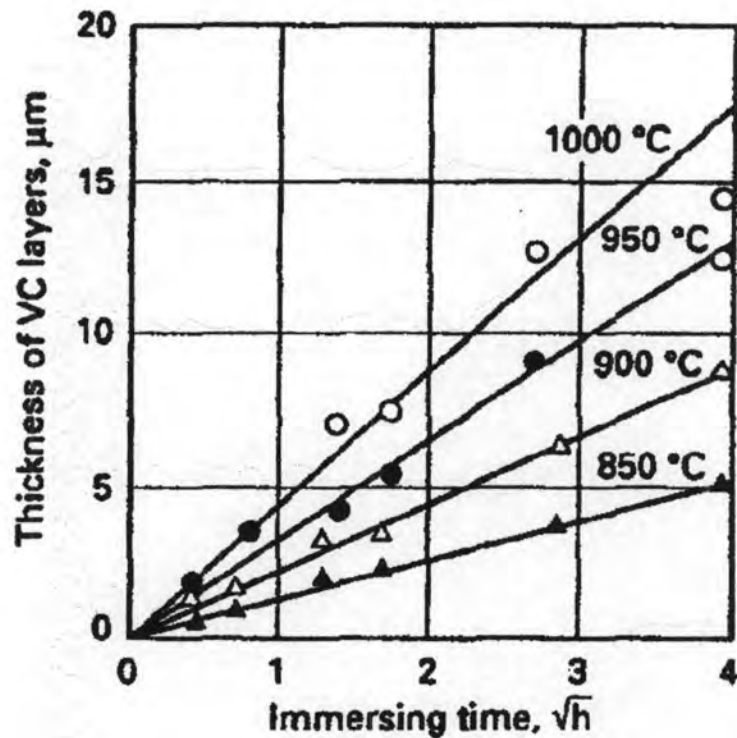
T. Arai และ S. Harper [3] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการ TD พบว่าความหนาของชั้นเคลือบถูกกำหนดโดยจำนวนของอะตอมคาร์บอนและอะตอมไนโตรเจนที่สามารถแพร่ซึมออกมาจากชนิดเหล็กที่ใช้ทำเนื้อพื้น หากว่ามีจำนวนของอะตอมธาตุที่ฟอร์มคาร์ไบด์และไนโตรไซด์มากพอ อะตอมของคาร์บอนและไนโตรเจนก็สามารถรวมตัวกับธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนที่แพร่ซึมออกมาเกิดเป็นชั้นคาร์ไบด์ที่บริเวณผิวชิ้นงาน จำนวนที่เพียงพอของธาตุฟอร์มคาร์ไบด์ เช่น 10% wt. Fe-V หรือ V_2O_5 กับ 5%wt. B_4C สำหรับการเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์หรือ Cr มากกว่า 10%wt. กับ 1%wt. NH_4Cl สำหรับการเกิดชั้นเคลือบโครเมียมคาร์ไบด์ แม้ว่าความหนาของชั้นเคลือบจะมีผลมาจากจำนวนของธาตุฟอร์มคาร์ไบด์แล้วยังพบว่าความหนาชั้นเคลือบยังขึ้นกับอุณหภูมิในการเคลือบ เวลาในการเคลือบ ชนิดของเหล็กที่นำมาเคลือบผิวและชนิดของชั้นคาร์ไบด์ ในกระบวนการเคลือบผิวนี้อุณหภูมิและเวลา มีผลต่อความหนาชั้นเคลือบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 1

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

d	=	ความหนาชั้นเคลือบ (ซ.ม.)
t	=	เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว (วินาที)
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (ซ.ม. ² /วินาที)
K ₀	=	ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (ซ.ม. ² /วินาที)
Q	=	Activated energy (กิโลจูล/โมล)
T	=	อุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิว (องศาเคลวิน)
R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ (จูล/โมล-เคลวิน)

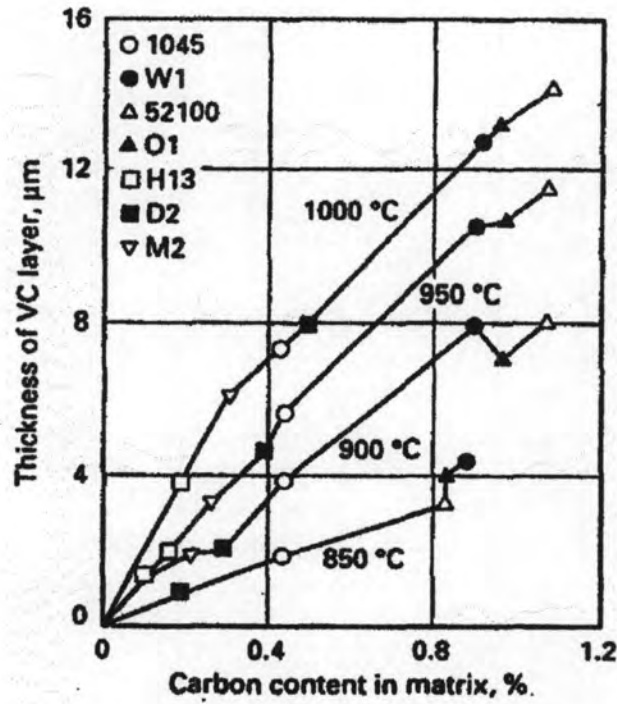
โดยค่า Q ที่ได้จากการทดลอง สำหรับวาเนเดียมคาร์ไบด์ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ และโครเมียมคาร์ไบด์ มีค่าประมาณ 192, 209 และ 167 กิโลจูล/โมล ตามลำดับค่า R คือค่าคงที่ของก๊าซมีค่าเท่ากับ 8.314 จูล/โมล-เคลวิน และค่า K₀ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าเพิ่มขึ้น

T. Arai และ S. Harper [2] ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 เทียบกับอุณหภูมิของอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมผงเฟอร์โรวาเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเวลาในการเคลือบ โดยเลือกที่จะทดลองในช่วงอุณหภูมิ 800-1250 องศาเซลเซียส พบว่าความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.4

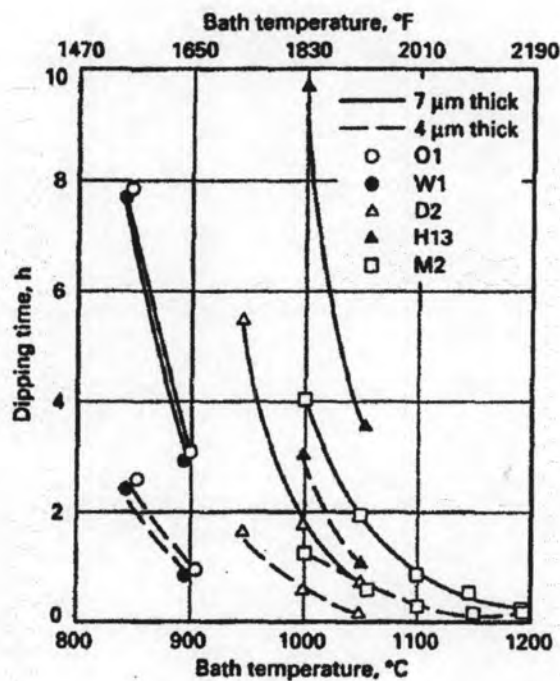


รูปที่ 2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ในเกลือบอบแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักบนชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ W1

นอกจากนี้ความหนาชั้นเคลือบยังขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นออสเทนไนท์ (Austenite matrix) จากการทดลองพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ และอุณหภูมิการเคลือบผิว โดยถ้าปริมาณคาร์บอน หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาเพิ่มขึ้นด้วย โดยเหล็กกล้าผสมถ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นออสเทนไนท์ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการแพร่ของอะตอมคาร์บอนในเนื้อเหล็กเพิ่มขึ้น และจะทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นอกจากนี้เวลาในการเคลือบให้ได้ความหนาที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำการเคลือบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวาเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเคลือบผิวงาน 4 ชั่วโมง



รูปที่ 2.6 ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือ และชนิดของเหล็ก ต่อเวลาในการเคลือบที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์หนา 7 และ 4 ไมครอนในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว

ประสงค์ และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อการเกิดชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2, H13 และ M2 ด้วยกระบวนการ TRD โดยใช้ปริมาณเฟอร์โรวานเดียม 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว โดยแปรผันเวลาในการเคลือบ 1 ถึง 9 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบในอ่างเกลือที่เติมอะลูมิเนียมเป็นรีตีวเซอร์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเกิดชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ขึ้น ส่วนชิ้นงานที่ทำการเคลือบโดยไม่ใช้รีตีวเซอร์จะไม่เกิดชั้นเคลือบ พบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สอง ของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ T.Arai และ S. Harper [3] ที่ทำการทดลองการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 โดยใช้ผงเฟอร์โรวานเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดชั้นเคลือบถูกควบคุมด้วยอัตราการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอน

สุรพล พรนิมิตรธรรม [4] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเคลือบผิวด้วยไนโอเบียมคาร์ไบด์บนเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 และ H13 โดยกระบวนการ TRD พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์ คือเติมเฟอร์โรไนโอเบียม 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอะลูมิเนียม 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยถ้าไม่เติมอะลูมิเนียมลงในอ่างเกลือเลยจะไม่เกิดชั้นเคลือบ แต่ถ้าเติมอะลูมิเนียมน้อยเกินไปก็จะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาลดลงและถ้าเติมมากเกินไปจะไม่เกิดชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์เลย แต่จะเกิดชั้นเหล็กบอไรด์แทน เนื่องจากปริมาณรีตีวเซอร์ที่มากเกินไปที่หลุดจากการรีตีวซ์ ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ จะไปรีตีวซ์ B_2O_3 ซึ่งโบรอนมีขนาดอะตอมเล็กจึงแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อเหล็กเกิดเป็นชั้นเหล็กบอไรด์ ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอนจากในเนื้อชิ้นงานไปที่ผิว ทำให้ไนโอเบียมไม่สามารถจับตัวกับคาร์บอนให้เป็นชั้นเคลือบคาร์ไบด์ได้ ความหนาชั้นเคลือบขึ้นอยู่กับปริมาณไนโอเบียมที่ละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ถ้าไนโอเบียมละลายไม่อิมตัวในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวจะทำให้ชั้นเคลือบมีความหนาน้อยลง

ธนศักดิ์ นิลสนธิ [5] ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ เฟอร์โรวานเดียม และ วานเดียมเพนทอกไซด์ เป็นสารที่ให้ธาตุวานเดียมต่อชั้นเคลือบบนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวและเบ้าเหล็กกล้าไร้สนิม กรณีใช้ เฟอร์โรวานเดียม 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ Al 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า เกิดชั้นเคลือบ วานเดียมคาร์ไบด์, ชั้นเหล็กบอไรด์ หรือไม่มีชั้นเคลือบเกิดขึ้น ขึ้นกับการละลายของ Fe-V และ Al กรณีเกิดชั้นเคลือบ VC เนื่องจาก Fe-V อาจละลายอยู่ในรูป V_2O_5 จึงเกิดชั้น VC บนผิวชิ้นงาน กรณีเกิดชั้นบอไรด์มีสาเหตุเกิดจากการเก็บผง Fe-V ไว้เป็นเวลานานเกินไป จนเกิดออกไซด์กับเหล็ก ทำให้ขัดขวางไม่ให้วานเดียมละลายในบอแรกซ์หลอมเหลว Al ที่เติมลงไปจึงไปรีตีวซ์โบรอนออกไซด์จนเกิดชั้นบอไรด์ กรณีไม่

เกิดชั้นเคลือบสาเหตุเกิดจากไม่เกิด V_2O_5 ในบอแรกซ์และสูญเสียน้ำหนักจากการเติมที่ไม่ดีพอ กรณีใช้ V_2O_5 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับแปรผันปริมาณ Al 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าความหนาของชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Al อย่างไรก็ตามการเติม Al ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีโอกาสก่อให้เกิดชั้นเหล็กบอไรด์

มหินทร์ ชัยฤทธิ์ [6] ได้ศึกษาผลของกรณีการใช้น้ำวานเนเดียมคาร์ไบด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับแปรผันปริมาณโบรอนคาร์ไบด์ในช่วง 4 ถึง 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณของโบรอนคาร์ไบด์ มีอิทธิพลต่อความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้น กรณีการเติมโบรอนคาร์ไบด์ 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ชั้นเคลือบหนากว่าการเติมโบรอนคาร์ไบด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและการเติมโบรอนคาร์ไบด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ความหนาชั้นเคลือบมากกว่าการเติมโบรอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เวลาการเคลือบผิวเท่ากัน

นายฟูศักดิ์ บุญยกุลศรีรุ่ง [7] ทำการทดสอบ การสึกหรอแบบเสียดสีไถล (sliding wear) ของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่ได้เคลือบผิว และที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย วานเนเดียม คาร์ไบด์ โดยวิธีทดสอบแบบ Block-on-ring พบว่า สำหรับชิ้นงานเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวความเร็วการทดสอบต่ำน้ำหนักกดสูง มีการสึกหรอมากกว่าที่ความเร็วสูงน้ำหนักกดต่ำ และ ชิ้นงานเคลือบผิวเป็นวานเนเดียมคาร์ไบด์ ความเร็วการทดสอบมีอิทธิพลมากกว่าน้ำหนักกด โดยชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์สามารถต้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ได้ที่ทุกค่าความเร็วทดสอบ จากความแข็งของชั้นเคลือบที่แข็งมากและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำของชั้นเคลือบ