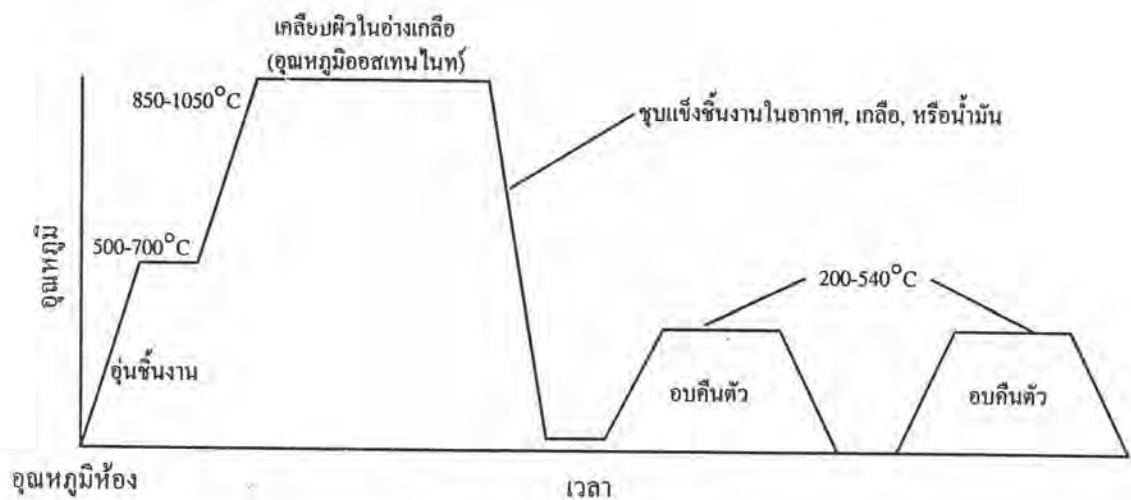


บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรม

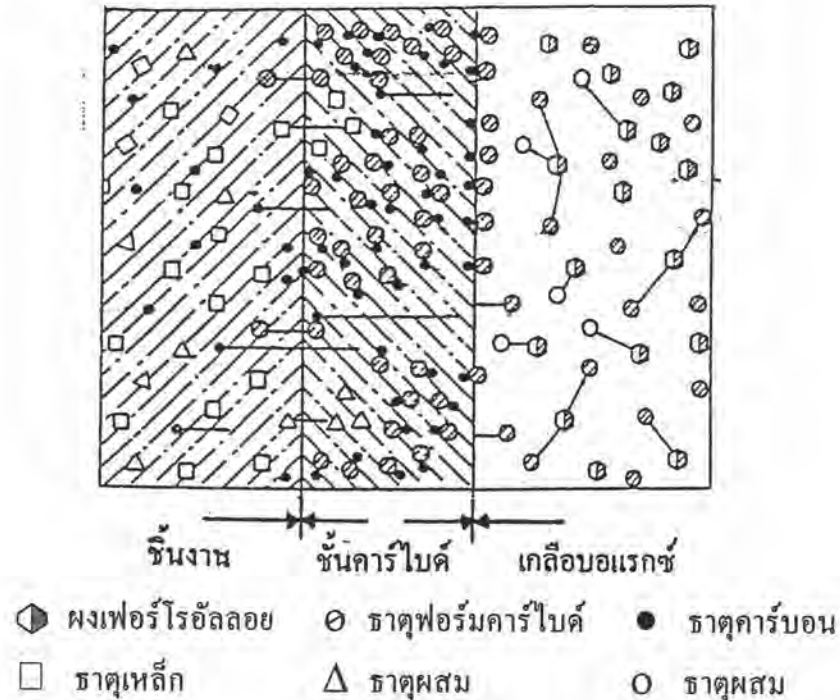
กระบวนการ TD เป็นวิธีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบและการแพร่ซึม ด้วยปฏิกิริยาทางความร้อน ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TD สามารถแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TD ⁽³⁾

การเคลือบผิวชิ้นงานด้วยกระบวนการ TD จะมีการอุ่น (preheat) ชิ้นงาน ก่อนการเคลือบผิวที่อุณหภูมิประมาณ 500-700°C เพื่อลดการบิดเบี้ยว (distortion) ของชิ้นงาน กระบวนการ TD จะทำการเคลือบผิวในช่วงอุณหภูมิ 850-1050°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิ ออสเทนไนท์ (austenitizing temperature) ของเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ, เหล็กกล้าคาร์บูไรซ์ และเหล็กกล้าเครื่องมือ ภายหลังจากการเคลือบผิวสามารถทำการชุบแข็งและอบคืนตัว (temper) ให้กับชิ้นงานได้ทันที

หลักของการเกิดชั้นเคลือบแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 คือ ผงเฟอร์ไรต์ลอยที่เติมลงในอ่างเกลือจะละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ทำให้อะตอมของธาตุที่จะฟอร์มคาร์ไบด์กระจายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว และรวมตัวกับอะตอมของธาตุคาร์บอนที่แพร่ซึมจากเนื้อโลหะมาที่ผิวเกิดเป็นชั้นคาร์ไบด์ขึ้น



รูปที่ 2.2 หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าด้วยกระบวนการ TD⁽¹⁾

T. Arai⁽⁴⁾ ได้กล่าวถึงความหนาของชั้นเคลือบคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ TD ว่าขึ้นกับอุณหภูมิของอ่างเกลือ, เวลาในการเคลือบผิว, ชนิดของเหล็กที่นำมาทำการเคลือบผิวและชนิดของชั้นคาร์ไบด์ โดยอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาในการเคลือบผิวต่อความหนาชั้นเคลือบคาร์ไบด์สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$d^2/t = K = K_0 \exp(-Q/RT)$$

d = ความหนาชั้นเคลือบ (ซ.ม.)

t = เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว (วินาที)

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

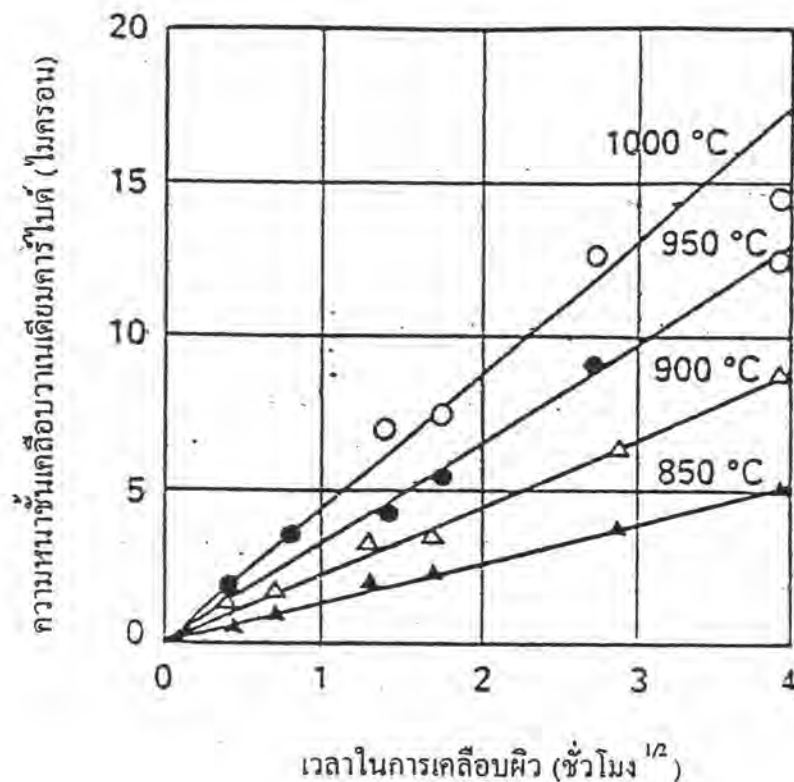
K_0 = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (ซ.ม.²/วินาที)

Q = Activated energy (kJ/mol)

T = อุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิว (K)

โดยค่า Q ที่ได้จากการทดลองสำหรับวานเนเดียมคาร์ไบด์, ไนโอเบียมคาร์ไบด์ และ โครเมียมคาร์ไบด์ มีค่าประมาณ 192, 209 และ 167 kJ/mol⁽⁴⁾ ตามลำดับ ค่า R คือ ค่าคงที่ของก๊าซมีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol-K และค่า K_0 มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนในเนื้อพื้นของเหล็กกล้าเพิ่มขึ้น

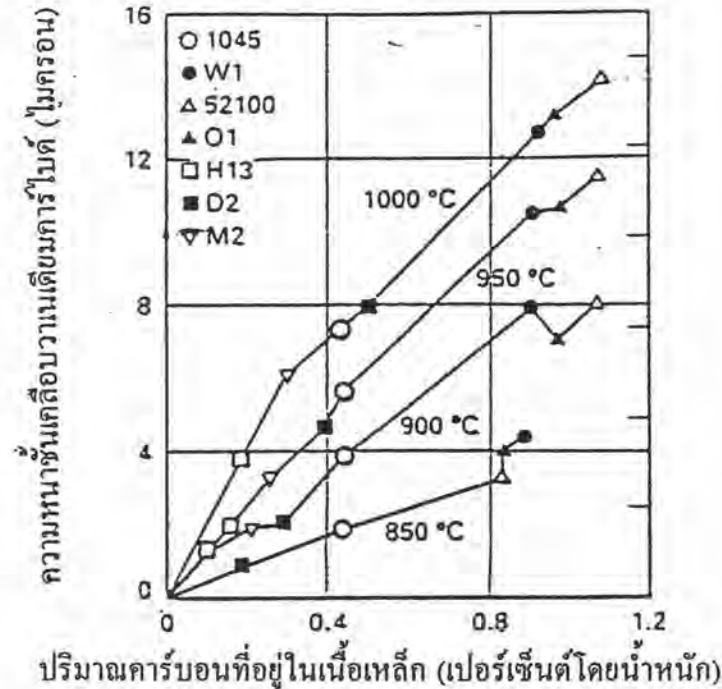
T.Arai และ S. Harper⁽³⁾ ได้ทำการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาต่อความหนาของชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ โดยทำการเคลือบผิวเหล็กกล้า เครื่องมือ WI ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่เติมผงเฟอร์โรวานเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าความหนาของชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่ 2 ของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว และเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ ในการเคลือบผิวเหล็กกล้า WI โดยเติมเฟอร์โรวานเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก⁽³⁾

T. Arai และ S. Harper⁽³⁾ ได้แสดงถึงผลของปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นออสเทนไนท์ (austenite matrix) มีผลกระทบโดยตรงต่อความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 พบว่าความหนาของชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตาม

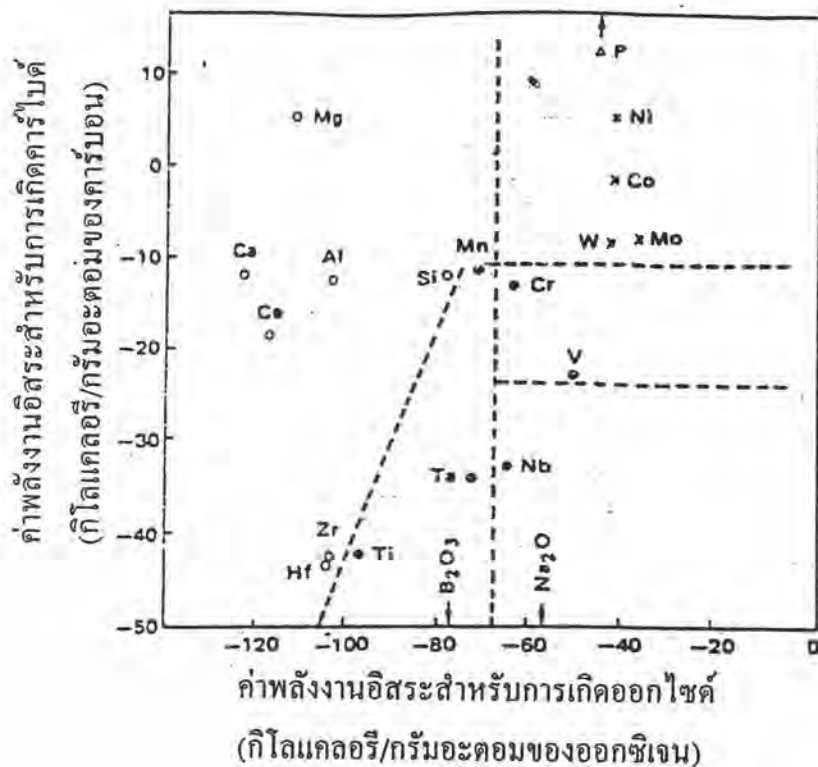
ปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ และตามอุณหภูมิการเคลือบผิวที่สูงขึ้น ในกรณีของเหล็กกล้าผสม อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นออสเทนไนต์ มีผลทำให้อัตราการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอนในเนื้อเหล็กเพิ่มขึ้น และทำให้ได้ชั้นเคลือบคาร์ไบด์มีความหนามากขึ้น



รูปที่ 2.4 ผลของปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อพื้นของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ โดยเติมเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักลงในอ่างเกลือบอแรกซ์ ใช้เวลาในการเคลือบผิว 4 ชั่วโมง⁽³⁾

H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott⁽⁵⁾ ได้กล่าวว่าการเคลือบผิวโดยใช้บอแรกซ์ 1 กิโลกรัม กับผงเฟอร์โรวานาเดียมจำนวน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำการให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นออกซิไดซิงรุนแรงจะไม่เกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ จำเป็นต้องเติมเฟอร์โรลูมิเนียมในปริมาณ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงไปด้วยจึงจะเกิดชั้นเคลือบของวานาเดียมคาร์ไบด์ แสดงว่าวานาเดียมละลายอยู่ในรูปของ V_2O_5 (vanadium pentoxide) ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนสูงเป็นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูง (ค่าพลังงานอิสระในการเกิดออกไซด์ -124 กิโลแคลอรีต่อกรัม โมลของวานาเดียม) ไม่สามารถรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนเกิดเป็นคาร์ไบด์ได้ทันที นอกจากนี้ H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDermott⁽⁵⁾ ได้ทดลองโดยใช้ก๊าซอาร์กอนปกคลุมในขณะที่ทำการเคลือบผิวเพื่อป้องกันสภาวะที่เป็นออกซิไดซิงรุนแรงพบว่าวานาเดียมละลายอยู่ในรูปของ V_2O_3 ซึ่งเป็นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพน้อย (ค่าพลังงานอิสระในการเกิดออกไซด์ -109 กิโลแคลอรีต่อกรัม โมลของวานาเดียม) สามารถเกิดเป็นชั้นวานาเดียมคาร์ไบด์บนผิวชิ้นงาน

H.C. Child, S.A. Plumb และ J.J. McDemott⁽⁵⁾ ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานอิสระของธาตุในสารประกอบที่เติมลงในอ่างเกลือบอแรกซ์กับชนิดของชั้นเคลือบที่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิการเคลือบผิว 1000 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.5



- เหล็กบอไรด์ ● คาร์ไบด์ Δ สารประกอบของเหล็ก
- ⊙ บอไรด์และคาร์ไบด์ หรือ บอไรด์(เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ) × ไม่เกิด

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานอิสระของธาตุในสารประกอบที่เติมลงในอ่างเกลือบอแรกซ์กับชนิดของชั้นเคลือบที่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิการเคลือบผิว 1000 °C⁽⁵⁾

T. Arai และ S. Harper⁽³⁾ ได้กล่าวถึงกรณีที่ใช้ ออกไซด์ของธาตุที่ต้องการเกิดเป็นชั้นคาร์ไบด์เติมลงในอ่างเกลือบอแรกซ์ในกระบวนการเคลือบผิว TD จำเป็นต้องเติมสารที่ทำหน้าที่เป็นรีดิวเซอร์ ซึ่งสารที่ใช้เป็นรีดิวเซอร์ที่ยกตัวอย่างไว้ คือ โบรอนคาร์ไบด์ และอะลูมิเนียม เช่น กรณีที่ใช้สาร V₂O₅ เป็นสารให้วานาเดียมเพื่อให้เกิดเป็นชั้นวานาเดียมคาร์ไบด์บนผิวชิ้นงาน จำเป็นต้องเติม B₄C ลงไปจำนวนหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่รีดิวซ์ V₂O₅ ให้อยู่ในรูปที่พร้อมทำปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนที่แพร่ซึมจากเนื้อเหล็กเกิดเป็นชั้นวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้นบนผิวชิ้นงาน

ประสงค์และคณะ⁽¹⁾ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อการเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2, H13 และ M2 ด้วยกระบวนการ TD โดยใช้ปริมาณเฟอร์ไรต์วานาเดียม 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงในอ่างเกลือ แปรผันเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว 1 ถึง 9 ชั่วโมง พบว่าชั้นงานที่ทำการเคลือบในอ่างเกลือที่เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ขึ้น ส่วนชั้นงานที่ทำการเคลือบในอ่างเกลือที่ไม่เติมอะลูมิเนียมจะไม่เกิดชั้นเคลือบ แสดงว่าวานาเดียมละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์อยู่ในรูปของ V_2O_5 และจำเป็นต้องใช้สารรีดิวเซอร์เพื่อให้วานาเดียมอยู่ในรูปที่พร้อมทำปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนเป็นชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ และพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่ 2 ของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ T. Arai และ S. Harper⁽³⁾ ที่ทำการทดลองการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 โดยใช้อ่างเกลือบอแรกซ์ที่เติมผงเฟอร์ไรต์วานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงว่าอัตราการเกิดชั้นเคลือบถูกควบคุมด้วยอัตราการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอน

สุรพล พรนิมิตรธรรม⁽⁶⁾ ได้ศึกษาการเคลือบผิวชิ้นงานเป็นไนโอเบียมคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 และ H13 โดยกระบวนการ TD พบว่าเติมเฟอร์ไรต์ไนโอเบียม 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอะลูมิเนียมจำนวน 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงในอ่างเกลือ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบผิวด้วยไนโอเบียมคาร์ไบด์ และถ้าไม่เติมอะลูมิเนียมลงในอ่างเกลือเลยก็จะไม่ได้ชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์แต่ในทางกลับกัน ถ้าเติมอะลูมิเนียมลงในอ่างเกลือมีอัตราส่วนสูง มีผลทำให้ชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์มีความหนาลดลง หรือถ้าสูงมากอาจไม่เกิดชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์ก็ได้ เนื่องมาจากปริมาณอะลูมิเนียมที่มีมากเกินไปเกินกว่าความต้องการในการรีดิวซ์ Nb_2O_5 ทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมส่วนที่เหลืออยู่ปรีดิวซ์ B_2O_3 ซึ่งโบรอนเป็นธาตุที่มีอะตอมขนาดเล็กจึงสามารถแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อเหล็กและรวมตัวกับธาตุเหล็กเกิดเป็นเหล็กบอไรด์ ซึ่งเหล็กบอไรด์ที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการแพร่ซึมของอะตอมคาร์บอนภายในเนื้อเหล็กมาที่ผิวชิ้นงานส่งผลให้ชั้นเคลือบไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ได้บนผิวชิ้นงานมีความหนาลดลงและไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้สุรพล พรนิมิตรธรรม⁽⁶⁾ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณเฟอร์ไรต์ไนโอเบียมซึ่งเป็นสารเฟอร์ไรต์ละลายของธาตุที่จะฟอร์มคาร์ไบด์ที่ใช้ในการทดลองพบว่าปริมาณเฟอร์ไรต์ไนโอเบียมที่เติมลงในอ่างเกลือมีผลต่อปริมาณไนโอเบียมที่ละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว ถ้าไนโอเบียมที่ละลายอยู่ในเกลือบอแรกซ์มีปริมาณน้อยกว่าจำนวนไนโอเบียมที่คาร์บอนที่ผิวเหล็กต้องการในการรวมตัวเกิดเป็นชั้นไนโอเบียมคาร์ไบด์หรือปริมาณไนโอเบียมในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวไม่อิ่มตัว จะทำให้ชั้นเคลือบที่ได้มีความหนาน้อยลง ในการทดลองพบว่า ปริมาณเฟอร์ไรต์ไนโอเบียม 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เติมลงในเกลือบอแรกซ์เป็นค่าที่เพียงพอทำให้เกลือบอแรกซ์หลอมเหลวอิ่มตัวไปด้วยไนโอเบียม

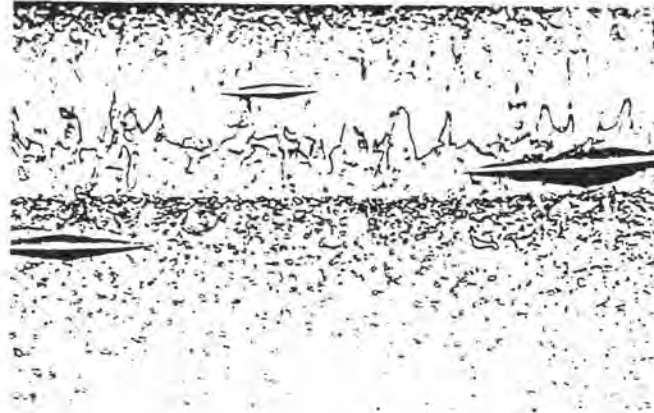
กล่าวคือถ้าเติมเฟอร์ไรต์ในโอเบียมลงในอ่างเกลือในปริมาณที่มากกว่า 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความหนาของชั้นเคลือบในโอเบียมคาร์ไบด์ที่ได้จะไม่มากกว่าความหนาของชั้นเคลือบในโอเบียมที่ได้จากการเติมเติมเฟอร์ไรต์ในโอเบียมปริมาณ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

A.K. Sinha⁽⁷⁾ ได้ศึกษาการทำบอไรดิง(Boriding) พบว่าในระหว่างการทำบอไรดิงเกิดการแพร่ซึมของอะตอมโบรอนขึ้นที่ผิวชิ้นงาน อะตอมโบรอนจับตัวกับอะตอมเหล็กเกิดเป็นชั้นเหล็กบอไรด์ อะตอมคาร์บอน,อะตอมซิลิคอน และอะตอมอะลูมิเนียม ที่อยู่ในเนื้อโลหะไม่สามารถละลายในชั้นเหล็กบอไรด์ได้ทำให้อะตอมคาร์บอน,อะตอมซิลิคอน และอะตอมอะลูมิเนียมจะถูกผลักดันเข้าไปในเนื้อโลหะ ชั้นเหล็กบอไรด์ที่เกิดขึ้นมีค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 1800 ถึง 2100 HV ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของโลหะที่นำมาทำบอไรดิง A.K. Sinha⁽⁷⁾ ได้แสดงถึงค่าความแข็งของชั้นบอไรด์ชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นตารางแสดงชนิดและค่าความแข็งของชั้นบอไรด์ที่เกิดขึ้นบนผิววัสดุที่ผ่านการทำบอไรดิง

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดและค่าความแข็งของชั้นบอไรด์ที่เกิดขึ้นบนผิววัสดุที่ผ่านการทำบอไรดิง

เนื้อวัสดุ	ชนิดของชั้นบอไรด์	ค่าความแข็ง (HV)
Fe	FeB	1900-2100
	Fe ₂ B	1800-2000
Ni	Ni ₄ B ₃	1600
	Ni ₂ B	1500
	Ni ₃ B	900
W	W ₂ B ₅	2600
Ti	TiB	2500
	TiB ₂	3370
Nb	NbB ₂	2200

H.C. Fiedler และ W.J. Hayes⁽⁸⁾ ได้ศึกษาการทำบอโรดิงบนเหล็กกล้า H13 พบว่าเกิดชั้นที่มีความแข็งต่ำขึ้นระหว่างชั้นเหล็กบอโรด์และเนื้อเหล็กกล้า H13 ดังแสดงในรูป 2.7 ซึ่งเป็นรูปโครงสร้างของเหล็กกล้า H13 ที่ผ่านการทำบอโรดิงที่ 890°C เป็นเวลา 183 นาที โดยค่าความแข็งของชั้นเหล็กบอโรด์เท่ากับ 2000 Khn ค่าความแข็งของเนื้อเหล็กกล้า H13 เท่ากับ 670 Khn และค่าความแข็งระหว่างชั้นเหล็กบอโรด์และเนื้อเหล็กกล้า H13 เท่ากับ 450 Khn



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเหล็กกล้า H13 ที่ผ่านการทำบอโรดิงที่ 890°C เป็นเวลา 183 นาที

H.C. Fiedler และ W.J. Hayes⁽⁸⁾ อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเหล็กกล้า H13 มีสารซิลิคอนเป็นส่วนประกอบทางเคมีประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อนำเหล็กกล้า H13 มาทำบอโรดิงเกิดเป็นชั้นเหล็กบอโรด์ อะตอมซิลิคอนไม่สามารถละลายในชั้นเหล็กบอโรด์ได้อะตอมซิลิคอนจึงถูกผลักดันให้เข้าไปในเนื้อเหล็ก และซิลิคอนเป็นธาตุที่สามารถฟอร์มเฟอไรท์ได้ทำให้บริเวณใต้ชั้นเหล็กบอโรด์เกิดเป็นชั้นเฟอไรท์ที่มีค่าความแข็งต่ำ