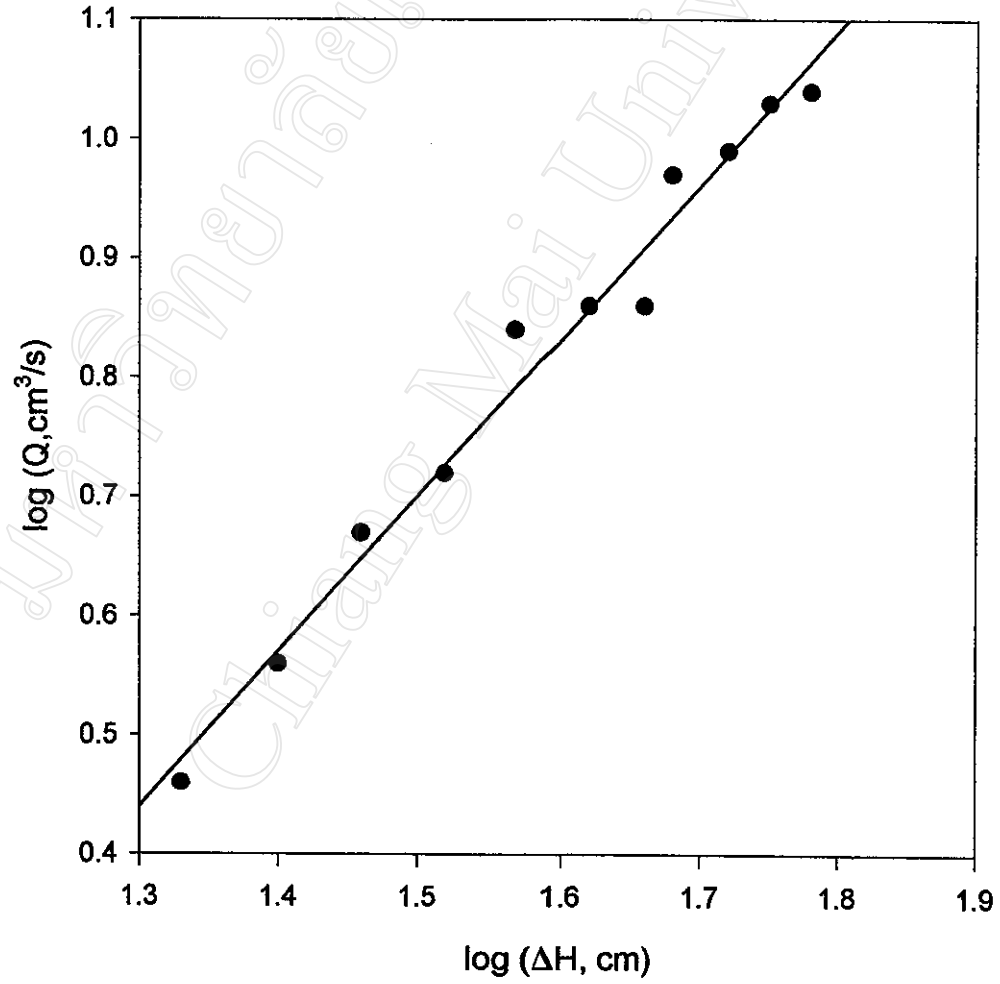
บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 การหาอัตราการไหลของแก๊สแอมโมเนีย

จากการทดลอง เมื่อทำการปรับระดับสารละลายในหลอดควบคุมความดันแก๊สให้ลดลง จะทำให้ระดับความแตกต่างของสารละลายในหลอดรูปตัวยู (ΔH) และอัตราการไหลของแก๊ส (Q) ลดลงตามไปด้วย

เมื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า log (Q, ซม.^{3} / วินาที) และ log (ΔH, ซม.) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังแสดงในรูป 4.1



รูป 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า log (Q, ซม.^{3} / วินาที) และ log (ΔH, ซม.) ของแก๊สแอมโมเนีย

โดยกราฟดังกล่าวจะเป็นไปตามสมการ

$$\log Q = s \log \Delta H + c \qquad \text{---(3.1)}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของแก๊ส (ซม.^{3} /วินาที)

ΔH คือ ระดับความแตกต่างของสารละลายในหลอดรูปตัวยู (ซม.)

s คือ ความชันของกราฟ มีค่าเท่ากับ 1.3008

c คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ -1.2501

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\log Q = 1.3008 \log \Delta H - 1.2501 \qquad \text{---(4.1)}$$

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.2 การหาขนาดเกรน

ผลการหาขนาดเกรนของเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 เคลวินเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และที่ไม่ได้ผ่านการไนไตรด์ แสดงไว้ในตาราง 4.1

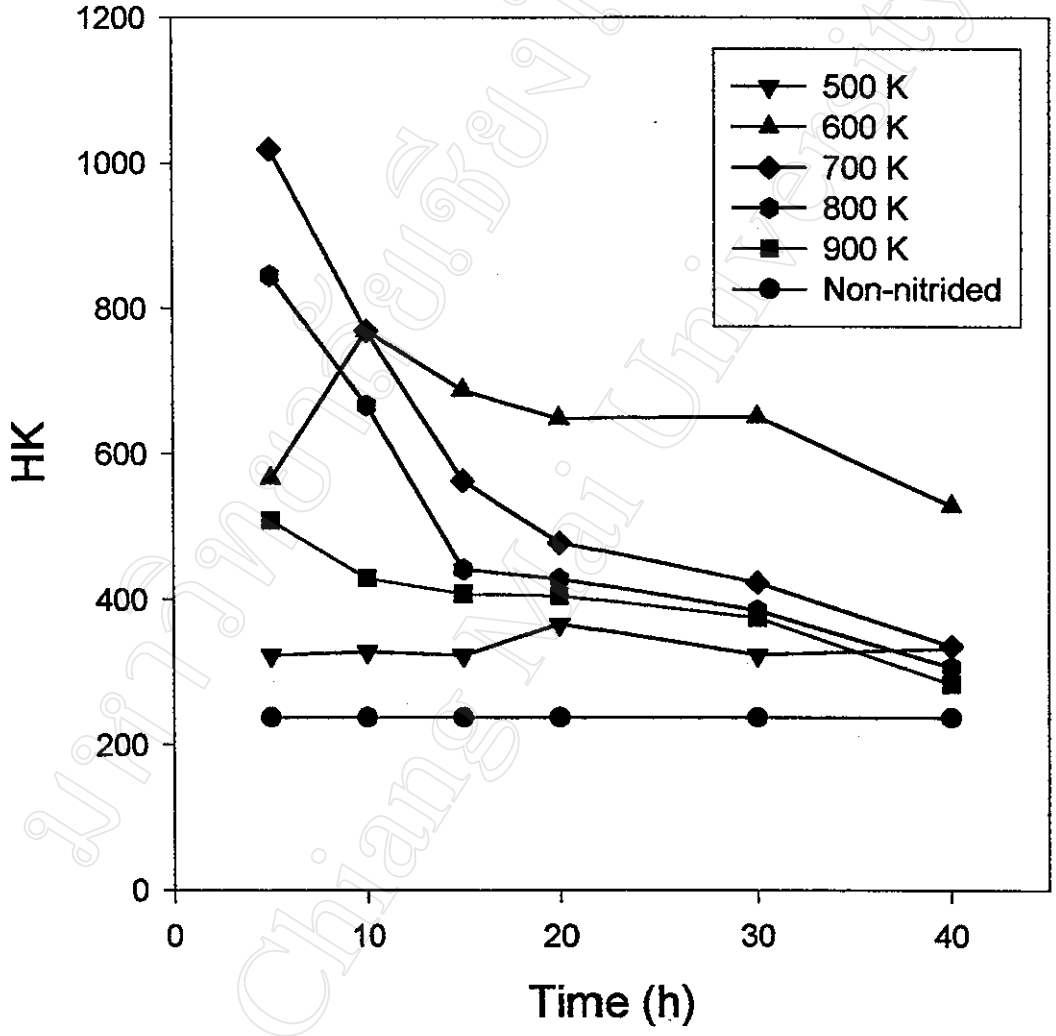
ตาราง 4.1 ขนาดเกรนของตัวอย่างทดสอบที่สภาวะต่าง ๆ

เหล็กกล้า	ขนาดเกรน (μm)					
	ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ					ไม่ผ่านการไนไตรด์
	900 K	800 K	700 K	600 K	500 K	
RDC 2V	3.0	2.4	2.1	1.8	1.8	1.7
RPG 3	3.1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0

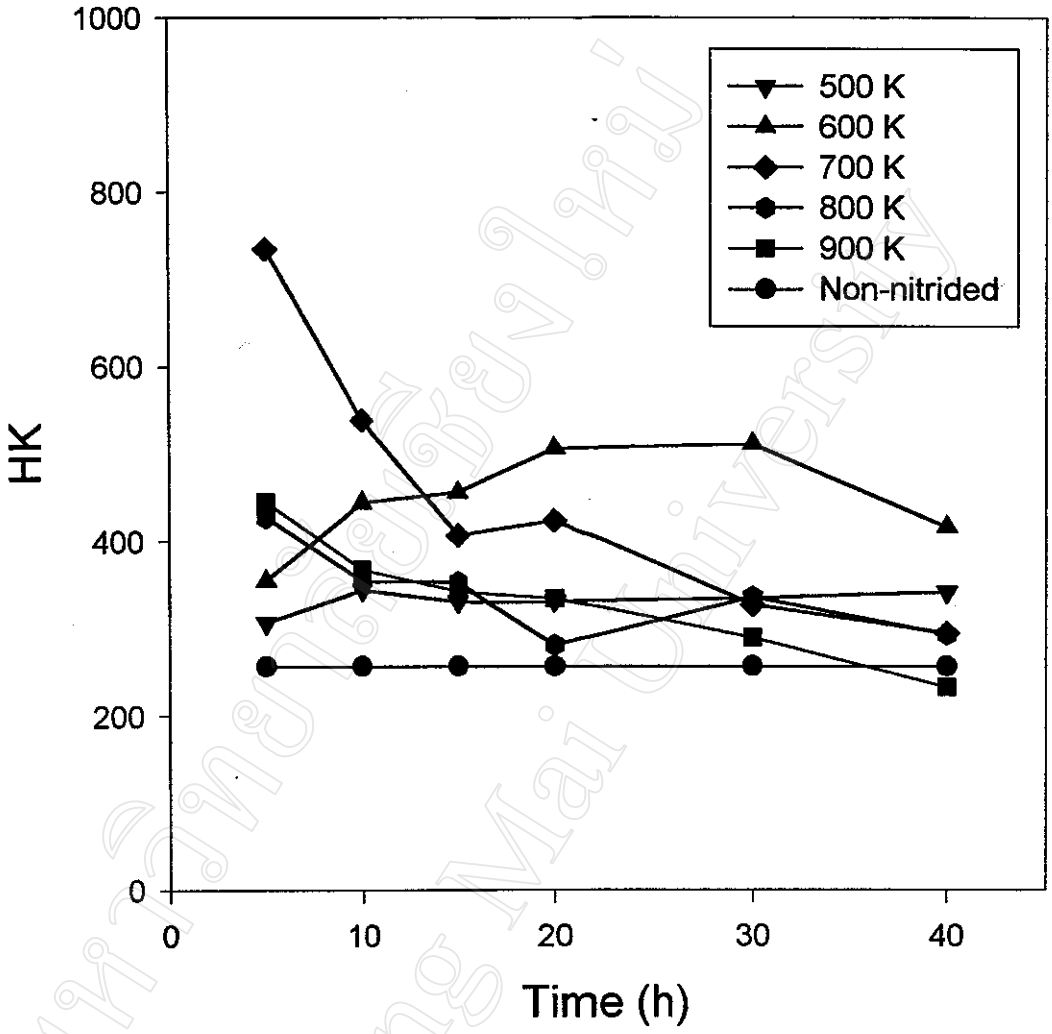
จากตาราง 4.1 แสดงให้เห็นว่าหลังจากผ่านการไนไตรด์เป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว ตัวอย่างทดสอบของเหล็กกล้าทั้งสองชนิดที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 900 เคลวินจะมีขนาดเกรนใหญ่ที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 800, 700, 600, 500 เคลวิน และน้อยที่สุดคือตัวอย่างทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการไนไตรด์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอะตอมนั้นพยายามที่จะจัดเรียงตัวให้อยู่ในแนวเดียวกันหรือพยายามที่จะเกิดเป็นผลึก ที่อุณหภูมิสูงอะตอมจะมีพลังงานมากและสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายการจัดเรียงตัวจึงสามารถทำได้ง่ายกว่าส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่กว่า และในทำนองเดียวกันการที่ใช้เวลาในการเผาเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้อะตอมมีเวลาในการจัดเรียงตัวได้มากขึ้นซึ่งก็ส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นกัน

4.3 การหาค่าความแข็ง

ผลการหาค่าความแข็งของเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 เคลวินและที่ไม่ได้ผ่านการไนไตรด์ แสดงไว้ในรูป 4.2 และ 4.3



รูป 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งผู้ปกับเวลาในการไนไตรด์ของเหล็กกล้า RDC 2V ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูป 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งผู้ปกับเวลาในการไนไตรด์ของเหล็กกล้า RPG 3 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูป 4.2 และรูป 4.3 แสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าทั้ง RDC 2V และ RPG 3 เมื่อผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 700 เคลวินขึ้นไปเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว ตัวอย่างทดสอบทุกชิ้นที่ผ่านการไนไตรด์จะมีความแข็งสูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการไนไตรด์อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 700 เคลวินจะมีความแข็งสูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 800 เคลวิน และต่ำที่สุดคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 900 เคลวิน เมื่อผ่านการไนไตรด์ครบ 10 ชม. ค่าความแข็งของตัวอย่างทดสอบมีค่าลดลง โดยที่ตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน ยังคงมีความแข็งสูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่

อุณหภูมิ 800 เคลวิน และต่ำที่สุดคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 900 เคลวินตามลำดับ ซึ่งค่าความแข็งของตัวอย่างทดสอบทุกชิ้นที่ผ่านการไนไตรด์จะลดลงเข้าใกล้ค่าของตัวอย่างทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการไนไตรด์เมื่อใช้เวลาในการไนไตรด์มากขึ้น จนกระทั่งสิ้นสุดการไนไตรด์ที่ 40 ชั่วโมง

เมื่ออะตอมไนโตรเจนละลายเข้าไปในเนื้อเหล็กกล้านั้นจะละลายเข้าไปในเฟสเฟอร์ไรต์ของเหล็ก โดยการละลายจะละลายเข้าไปในช่องแทรก (interstitial site) ระหว่างอะตอมเหล็ก เพราะขนาดอะตอมไนโตรเจนมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปแทรกในช่องว่างดังกล่าวได้เช่นเดียวกับอะตอมคาร์บอน จนกระทั่งมีความเข้มข้นถึงระดับอิ่มตัว อะตอมไนโตรเจนจะไม่สามารถละลายได้อีกและจะเกิดการตกตะกอน (precipitation) ขึ้น เนื่องจากภายในเกรนโครงสร้างจะเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ การที่จะเกิดการตกตะกอนในเกรนนั้นจะต้องใช้พลังงานมาก แต่ที่ขอบเกรนโครงสร้างจะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและมีความเสถียรต่ำ ดังนั้นการตกตะกอนของไนไตรด์จึงเกิดขึ้นที่บริเวณขอบเกรน

การที่เหล็กกล้าที่ทำการไนไตรด์ที่อุณหภูมิต่ำกว่ามีความแข็งสูงกว่านั้น ในทางทฤษฎีสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากขนาดของเกรน โดยที่อุณหภูมิไนไตรด์ต่ำกว่าเกรนจะมีขนาดเล็กกว่า และการที่ขนาดเกรนเล็กกว่านี้เองจะทำให้มีบริเวณที่เป็นขอบเกรนมากกว่า ซึ่งที่ขอบเกรนจะเป็นบริเวณที่สารประกอบไนไตรด์ซึ่งมีความแข็งสูงจะเกิดการตกตะกอน ดังนั้นการที่มีบริเวณที่เป็นขอบเกรนมากจะทำให้สารประกอบไนไตรด์ตกตะกอนอยู่อย่างหนาแน่น ตรงข้ามกับการที่เกรนมีขนาดใหญ่ที่ทำให้สารประกอบไนไตรด์ตกตะกอนอยู่อย่างเบาบาง ส่งผลให้ความแข็งของเหล็กกล้าที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิต่ำกว่ามีค่าสูงกว่า ในทำนองเดียวกัน การที่ใช้เวลาไนไตรด์มากขึ้นก็จะทำให้เกรนมีขนาดโตขึ้นด้วย ทำให้เมื่อใช้เวลาในการไนไตรด์มากขึ้นค่าความแข็งจึงลดลง ซึ่งสิ่งเหล่านี้บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับขนาดเกรนได้เป็นอย่างดี

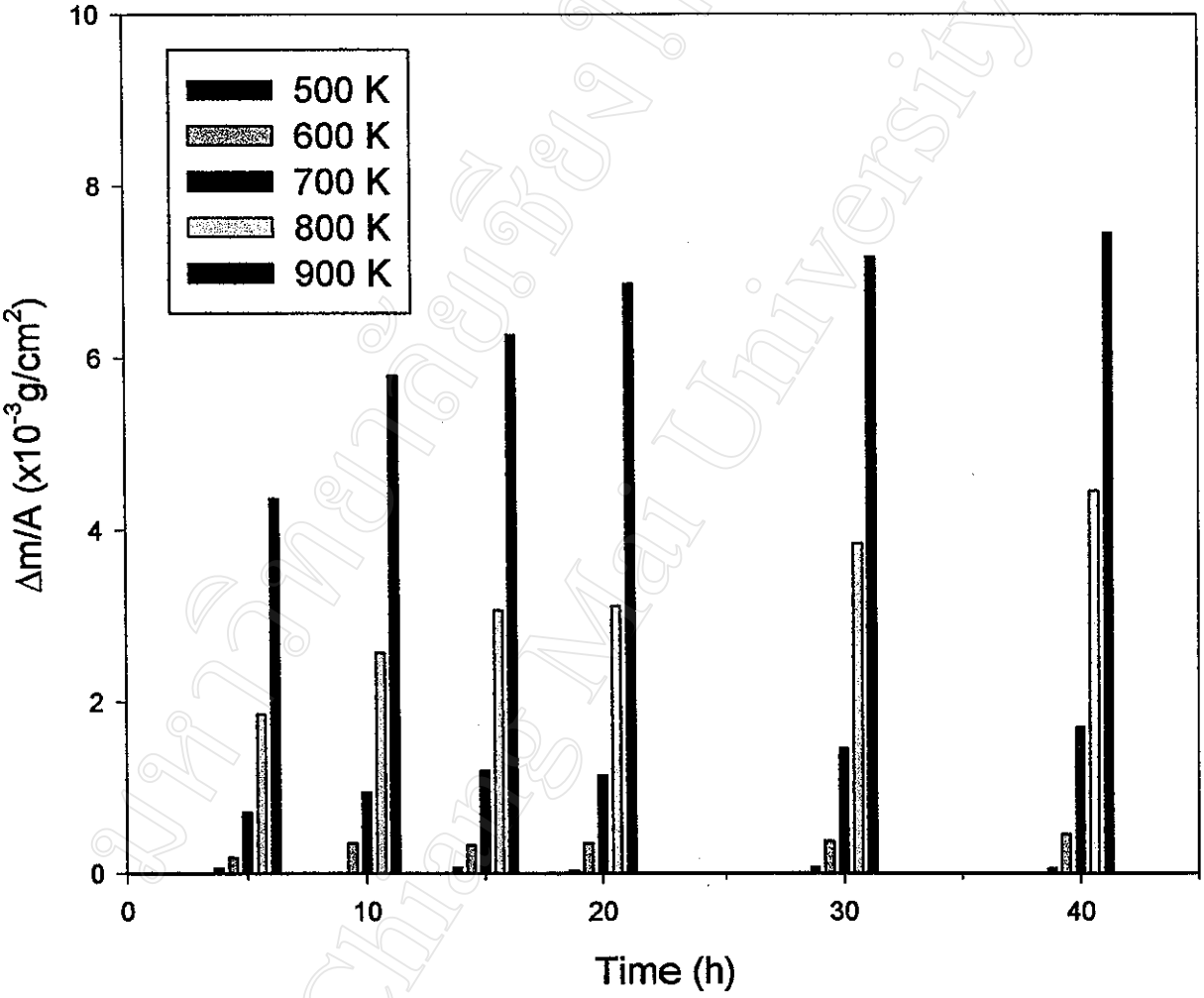
สำหรับการไนไตรด์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 เคลวินนั้น ตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีความแข็งต่ำกว่าซึ่งเป็นผลมาจากการแตกตัวของโมเลกุลของแอมโมเนียนั้นมีน้อยเนื่องจากที่อุณหภูมิ 600 และ 500 เคลวินนั้นมีพลังงานไม่มากพอที่จะทำให้โมเลกุลของแอมโมเนียแตกตัวได้ดี ซึ่งสิ่งที่ยืนยันได้คือเมื่อนำตัวอย่างทดสอบออกจากห้องเผาจะมีแอมโมเนียฟุ้งกระจายมากซึ่งเมื่อเทียบกับการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 700 เคลวินขึ้นไปจะไม่พบลักษณะดังกล่าว เมื่อแอมโมเนียแตกตัวน้อยจึงให้อะตอมไนโตรเจนแก่เหล็กกล้าน้อย ถึงแม้ว่าขนาดเกรนจะเล็กแต่เมื่อมีอะตอมไนโตรเจนที่จะเกิดเป็นไนไตรด์ในปริมาณน้อยก็ทำให้การตกตะกอนของสารประกอบไนไตรด์ที่บริเวณขอบเกรนก็เบาบางไปด้วย ส่งผลให้ความแข็งมีค่าต่ำ

เมื่อเวลาผ่านไปตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 600 เคลวินจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณอะตอมไนโตรเจนที่เกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์มากขึ้น จากนั้นความแข็งจะลดลงตามผลของขนาดเกรน ส่วนตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 500 เคลวินความแข็งจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างจะคงที่เนื่องจากปริมาณของอะตอมไนโตรเจนที่ละลายเข้าในเหล็กกล้ามีน้อยและผลของขนาดเกรนจะมีผลต่อความแข็งเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเกรนมีการเติบโตเพียงเล็กน้อย

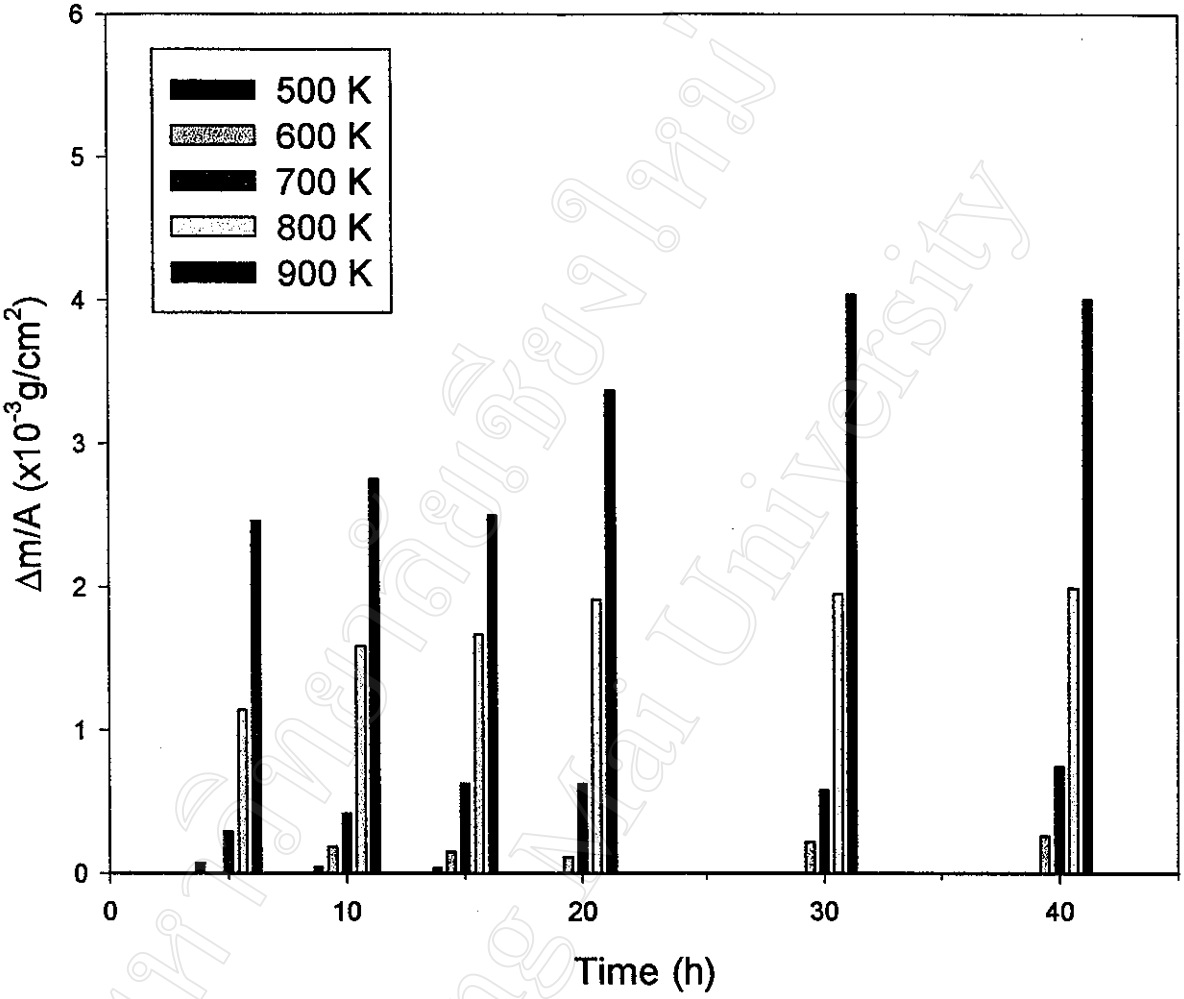
เมื่อพิจารณาเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิเท่ากันและใช้เวลาในการไนไตรด์เท่ากันจะพบว่า RDC 2V จะมีความแข็งสูงกว่า ซึ่งสิ่งนี้สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาจากความแตกต่างของปริมาณของธาตุผสมที่จะเกิดเป็นไนไตรด์ของเหล็กกล้าทั้งสองชนิด ซึ่งก็คือ Cr, Mo และ V โดยที่ RDC 2V จะมี 5.25%Cr 1.35%Mo 1.2%V ส่วน RPG 3 จะมี 3.0%Cr 2.85%Mo 0.5%V เมื่อพิจารณาปริมาณของธาตุผสมจะเห็นได้ว่า RDC 2V จะมีความเข้มข้นของธาตุผสมสูงกว่า RPG 3 และเนื่องจากในบรรยากาศมีความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากัน ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พื้นผิวจึงเท่ากันด้วย เมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พื้นผิวเท่ากันแต่ความเข้มข้นของธาตุผสมมีมากกว่า จะทำให้ไนโตรเจนไปรวมตัวกับธาตุผสมเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ซึ่งมีความแข็งสูงได้หนาแน่นมากกว่า ทำให้ RDC 2V มีความแข็งสูงกว่า RPG 3 และเมื่อพิจารณาจากรูป 2.4 จะเห็นได้ว่า RDC 2V นั้นมีส่วนผสมของธาตุทั้งสามชนิดอยู่ในระดับที่ให้ค่าความแข็งสูงกว่า RPG 3 โดยเฉพาะ Cr ซึ่งเป็นธาตุผสมที่เกิดเป็นไนไตรด์ที่มีความแข็งมากที่สุดหรือมีอิทธิพลต่อความแข็งของเหล็กกล้าทั้งสองหลังการไนไตรด์มากที่สุดในบรรดาธาตุผสมทั้งสามชนิด RDC 2V จะมีในปริมาณที่มากกว่า RPG 3 ถึง 2.25% สิ่งเหล่านี้จึงส่งผลให้ RDC 2V มีความแข็งสูงกว่า RPG 3 ที่อุณหภูมิไนไตรด์และเวลาในการไนไตรด์เท่ากัน

4.4 การหาค่า $\Delta m/A$

ผลการหาค่า $\Delta m/A$ ของเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 เคลวิน แสดงไว้ในรูป 4.4 และ 4.5



รูป 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\Delta m/A$ กับเวลาในการไนไตรด์ของเหล็กกล้า RDC 2V ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูป 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Δm/A กับเวลาในการไนไตรด์ของเหล็กกล้า RPG 3 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูป 4.4 และรูป 4.5 แสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าทั้ง RDC 2V และ RPG 3 เมื่อผ่านการไนไตรด์เป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว ตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 900 เคลวินจะมีค่า Δm/A สูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 800, 700, 600 เคลวิน และต่ำที่สุดคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500 เคลวิน เมื่อผ่านการไนไตรด์ครบ 10 ชั่วโมงค่า Δm/A ของตัวอย่างทดสอบจะเพิ่มขึ้นอีก โดยที่ตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 900 เคลวินยังคงมี ค่า Δm/A สูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 800, 700, 600 เคลวิน และต่ำที่สุดคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500 เคลวินตามลำดับ ซึ่งค่า Δm/A ของ

ตัวอย่างทดสอบทุกชิ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อใช้เวลาในการไนไตรด์มากขึ้นตลอดจนกระทั่งสิ้นสุดการไนไตรด์ที่ 40 ชั่วโมง โดยค่า Δm/A ที่อุณหภูมิ 700 เคลวินขึ้นไปจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการไนไตรด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Δm/A ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 เคลวินนั้นค่อนข้างจะคงที่

ค่า Δm/A คืออัตราส่วนของมวลที่เปลี่ยนแปลงต่อพื้นที่จะบ่งบอกถึงอัตราการละลายของอะตอมไนโตรเจนในเหล็กกล้า การละลายของไนโตรเจนในเหล็กกล้านั้นจะสัมพันธ์กับการแพร่ของอะตอมไนโตรเจน โดยการแพร่นั้นเกิดจากเกรเดียนของความเข้มข้นของไนโตรเจนระหว่างภายในเหล็กกล้ากับบรรยากาศภายนอกการที่ค่า Δm/A เพิ่มขึ้นตามเวลาในการไนไตรด์ที่เพิ่มขึ้นก็เนื่องจากว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณไนโตรเจนที่แพร่เข้าสู่ภายในเหล็กกล้ามีมากขึ้น อัตราส่วนมวลที่เปลี่ยนแปลงต่อพื้นที่จึงเพิ่มขึ้น และการที่ตัวอย่างทดสอบที่ทำการไนไตรด์ที่อุณหภูมิสูงกว่าโดยใช้เวลาในการไนไตรด์เท่ากันมีค่า Δm/A สูงกว่าก็เนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงกว่าอะตอมของไนโตรเจนมีพลังงานในการแพร่สูงกว่าจึงเกิดการแพร่ได้ดีกว่า ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่แพร่เข้าสู่ภายในเหล็กกล้ามีมากกว่า อัตราส่วนมวลที่เปลี่ยนแปลงต่อพื้นที่จึงมากกว่า

เมื่อพิจารณาเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิเท่ากันและใช้เวลาในการไนไตรด์เท่ากันจะพบว่า RDC 2V จะมีค่า Δm/A สูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของฟิกส์ (Fick's law)

$$J = -D\frac{\partial c}{\partial x} \qquad \text{---(4.2)}$$

เมื่อ J คือ ฟลักซ์ของอนุภาคหรือจำนวนอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรใน 1 วินาที

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) (ตารางเซนติเมตรต่อวินาที)

$\frac{\partial c}{\partial x}$ คือ เกรเดียนของความเข้มข้น

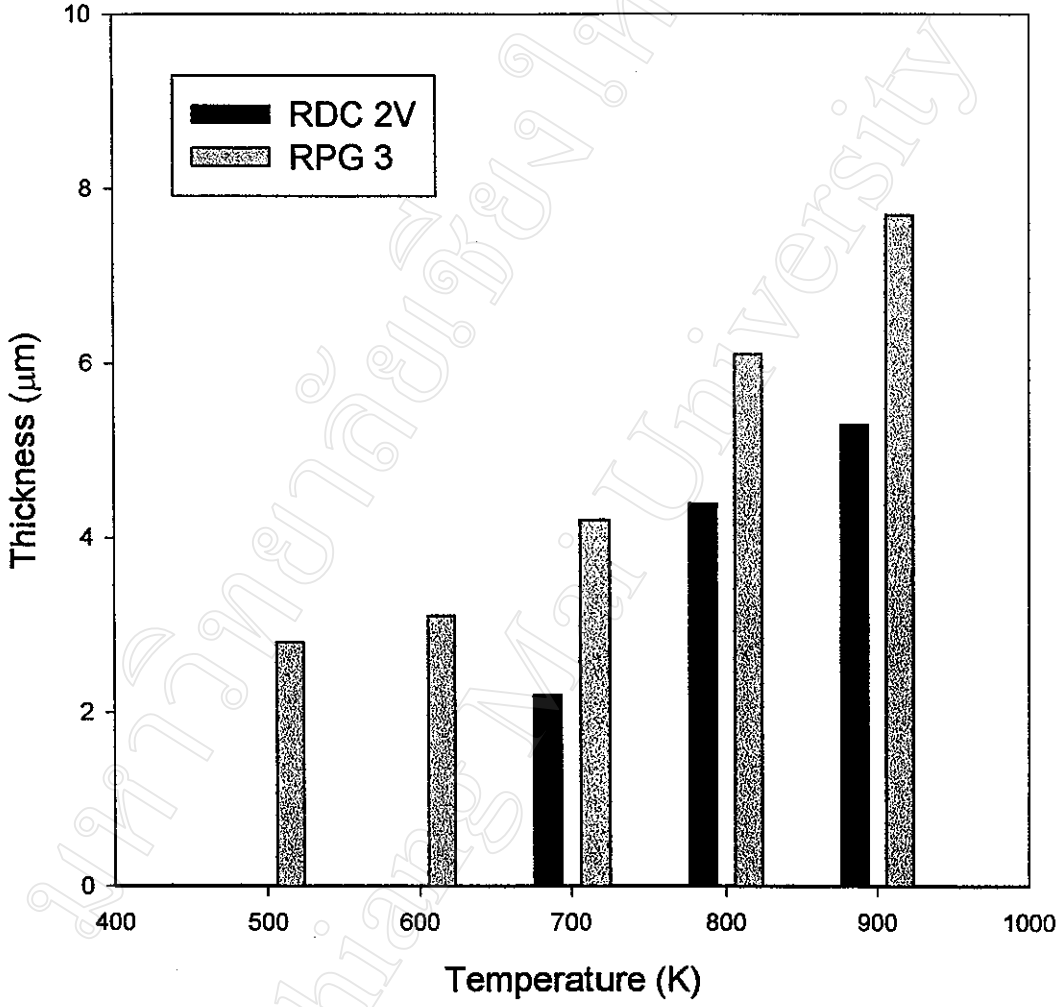
ที่อุณหภูมิในการไนไตรด์ที่เท่ากันและเวลาในการไนไตรด์ที่เท่ากันการละลายของอะตอมไนโตรเจนในเหล็กกล้าจะขึ้นกับความเข้มข้นของไนโตรเจนในบริเวณพื้นผิวของเหล็กกล้า เหล็กกล้าที่มีปริมาณธาตุผสมที่จะเกิดเป็นไนไตรด์มากกว่า ที่บริเวณพื้นผิวจะมีความเข้มข้นของอะตอมไนโตรเจนต่ำเนื่องจากอะตอมไนโตรเจนจะไปรวมตัวกับธาตุผสมเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ได้มาก ทำให้เกรเดียนของความเข้มข้นของไนโตรเจนระหว่างพื้นผิวเหล็กกล้ากับบรรยากาศภายนอกมีสูง อะตอมไนโตรเจนจากบรรยากาศภายนอกจึงแพร่เข้ามามากขึ้นและเกิดการละลายของอะตอมไนโตรเจนในเหล็กกล้ามากขึ้น ซึ่งก็เป็นไปตามกฎของฟิกส์ จึงทำให้ค่า Δm/A สูง ส่วน

กรณีเหล็กกล้าที่มีปริมาณธาตุผสมที่จะเกิดเป็นไนไตรด์น้อยกว่า ที่บริเวณพื้นผิวจะมีความเข้มข้นของอะตอมไนโตรเจนสูงกว่าเพราะอะตอมไนโตรเจนรวมตัวกับธาตุผสมเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ได้น้อย ทำให้เกรเดียนของความเข้มข้นของไนโตรเจนที่บริเวณพื้นผิวกับบรรยากาศภายนอกต่ำกว่า ไนโตรเจนในบรรยากาศจึงแพร่เข้ามาน้อย การละลายของไนโตรเจนในเหล็กกล้าจึงน้อย ทำให้ค่า Δm/A ต่ำ ด้วยเหตุนี้ค่า Δm/A ของ RDC 2V จึงสูงกว่า RPG 3 ที่ทำการไนไตรด์ที่อุณหภูมิเท่ากันและใช้เวลาในการไนไตรด์เท่ากัน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.5 การหาความหนาของชั้นไนไตรด์

ผลการหาความหนาของชั้นไนไตรด์ของเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 เคลวินเป็นเวลา 40 ชั่วโมง แสดงไว้ในรูป 4.6



รูป 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาของชั้นไนไตรด์ของเหล็กกล้า RPG 3 และเหล็กกล้า RDC 2V

จากรูป 4.6 แสดงให้เห็นว่าหลังจากผ่านการไนไตรด์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง กรณีเหล็กกล้า RPG 3 ตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 900 เคลวินจะความหนามากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 800, 700, 600 เคลวิน และความหนาน้อยที่สุดคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 500 เคลวิน ส่วนกรณีเหล็กกล้า RDC 2V ตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่

อุณหภูมิ 900 เคลวินจะความหนามากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างทดสอบที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 800, 700 เคลวิน ส่วนที่อุณหภูมิ 600 และ 500 เคลวินนั้นยังไม่ปรากฏชั้นไนไตรด์

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนาของชั้นไนไตรด์สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของฟิกส์ เช่นเดียวกับค่า $\Delta m/A$ ความหนาของชั้นไนไตรด์จะสัมพันธ์กับการแพร่ของอะตอมไนโตรเจน โดยการแพร่นั้นเกิดจากเกรเดียนของความเข้มข้นของไนโตรเจนระหว่างภายในเหล็กกล้ากับบรรยากาศภายนอก การที่ความหนาของชั้นไนไตรด์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการไนไตรด์ที่เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงอะตอมของไนโตรเจนจะมีพลังงานในการแพร่สูงกว่าจึงเกิดการแพร่ได้ดีกว่า ทำให้อะตอมไนโตรเจนแพร่ผ่านผิวเหล็กกล้าเข้าสู่ภายในได้ลึกกว่า และเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์กับธาตุผสมที่อยู่ลึกกว่า จึงปรากฏเป็นชั้นไนไตรด์ที่มีความหนามากกว่า ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอะตอมของไนโตรเจนจะมีพลังงานในการแพร่ต่ำกว่า ทำให้อะตอมไนโตรเจนแพร่ผ่านผิวเหล็กกล้าเข้าสู่ภายในได้ในระดับที่ตื้นกว่า และเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์กับธาตุผสมที่อยู่ในระดับดังกล่าว จึงปรากฏเป็นชั้นไนไตรด์ที่มีความหนาน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ไนไตรด์ที่อุณหภูมิเท่ากันจะพบว่า RDC 2V จะมีความหนาของชั้นไนไตรด์มากกว่า RPG 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยพิจารณาจากความแตกต่างของปริมาณของธาตุผสมที่จะเกิดเป็นไนไตรด์ของเหล็กกล้าทั้งสองชนิด ซึ่งก็คือ Cr, Mo และ V โดยที่ RDC 2V จะมี 5.25%Cr 1.35%Mo 1.2%V ส่วน RPG 3 จะมี 3.0%Cr 2.85%Mo 0.5%V โดยจะพิจารณา Cr เป็นหลักเพราะเป็นธาตุผสมที่เกิดเป็นไนไตรด์ดีที่สุดในบรรดาธาตุผสมทั้งสามชนิด เมื่อพิจารณาปริมาณของ Cr จะเห็นได้ว่า RDC 2V จะมีความเข้มข้นของ Cr สูงกว่า RPG 3 และเนื่องจากในบรรยากาศมีความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากัน ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พื้นผิวจึงเท่ากันด้วย เมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พื้นผิวเท่ากันแต่ความเข้มข้นของโครเมียมมีมากกว่า จะทำให้ไนโตรเจนไปรวมตัวกับโครเมียมเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ได้มากกว่า ผลคือมีไนโตรเจนที่ไม่ได้เกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์เหลืออยู่น้อยกว่า ซึ่งไนโตรเจนส่วนนี้เป็นส่วนที่จะแพร่เข้าสู่ภายในและเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ในระดับที่ลึกลงไปจากพื้นผิว จึงทำให้ความหนาของชั้นไนไตรด์ของ RDC 2V น้อยกว่า RPG 3 และเมื่อพิจารณารูป 2.5 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้สอดคล้องกัน โดย RDC 2V นั้นมีส่วนผสมของ Cr อยู่ในระดับที่ให้ความลึกของชั้นไนไตรด์น้อยกว่า RPG 3 จริง

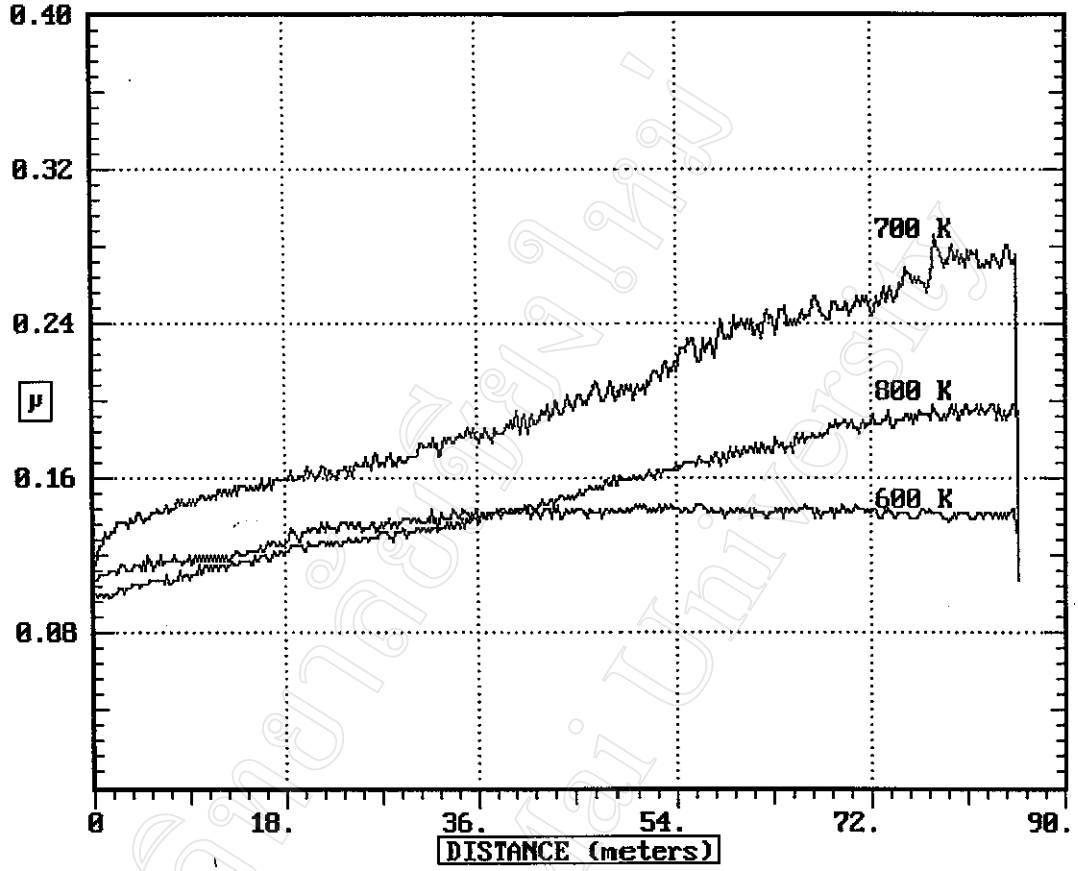
4.6 การหาอัตราการสึกกร่อน

ผลการหาอัตราการสึกกร่อนของเหล็กกล้า RDC 2V และ RPG 3 ที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 เคลวินเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งมีความแข็งสูงที่สุดสามอันดับแสดงไว้ในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 อัตราการสึกกร่อนของตัวอย่างทดสอบที่สภาวะต่าง ๆ

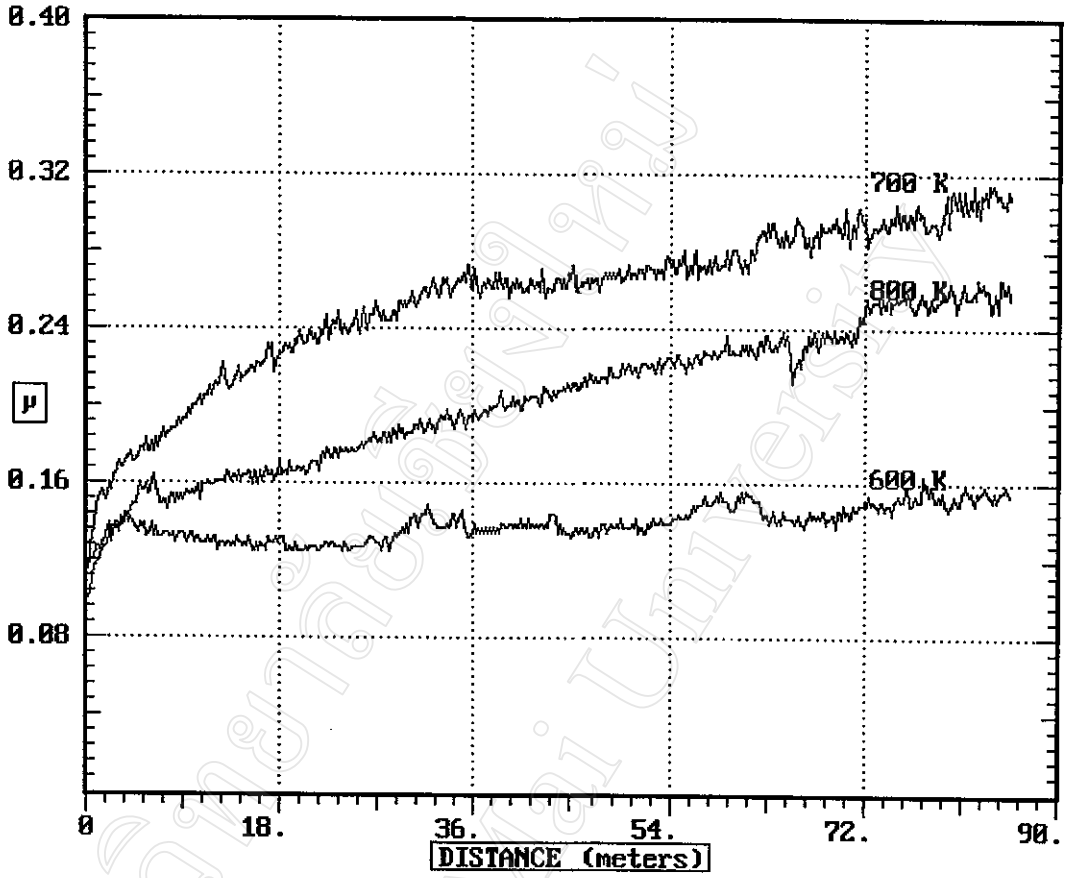
เหล็กกล้า	อัตราการสึกกร่อน (มม.^{3}/มม.)		
	600 K	700 K	800 K
RDC 2V	3.945×10^{-4}	1.856×10^{-4}	2.771×10^{-4}
RPG 3	2.439×10^{-4}	2.238×10^{-4}	2.334×10^{-4}

จะเห็นได้ว่าเหล็กกล้าที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 700 เคลวินจะมีอัตราการสึกกร่อนต่ำที่สุด รองลงมาคือที่ 800 เคลวิน และเหล็กกล้าที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 600 เคลวินจะมีอัตราการสึกกร่อนสูงที่สุด ซึ่งจากการพิจารณาพบว่าอัตราการสึกกร่อนจะสัมพันธ์กับความแข็งของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 700 เคลวินนั้นมีความแข็งสูงที่สุด รองลงมาคือที่ 800 เคลวิน และตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 600 เคลวินนั้นมีความแข็งต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลของความแข็งกับอัตราการสึกกร่อนจะเห็นได้ว่าเมื่อความแข็งของตัวอย่างทดสอบสูงขึ้นจะทำให้อัตราการสึกกร่อนลดลง



รูป 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับระยะทางของเหล็กกล้า RDC 2V

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูป 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับระยะทางของเหล็กกล้า RPG 3

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับระยะทางของตัวอย่างทดสอบแต่ละชนิดในรูป 4.7 และ รูป 4.8 จะเห็นว่าตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่อุณหภูมิ 700 เคลวินนั้นมีความเสียดทานสูงที่สุด รองลงมาคือที่ 800 เคลวิน และตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการไนไตรด์ที่ 600 เคลวินนั้นมีความเสียดทานต่ำที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความแข็งสูงกว่าจะเกิดความเสียดทานขึ้นมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามกราฟดังกล่าวไม่สามารถอธิบายถึงอัตราการสึกกร่อนได้อย่างชัดเจน ส่วนการหาอัตราการสึกกร่อนของหัวกดนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากรอยที่เกิดขึ้นบนหัวกดนั้นเป็นเพียงรอยขีดข่วนจึงไม่สามารถวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยสึกนั้นได้ ทั้งนี้เป็นเพราะหัวกดเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ซึ่งมีความแข็งสูงมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างทดสอบส่วนใหญ่