บทที่ 2

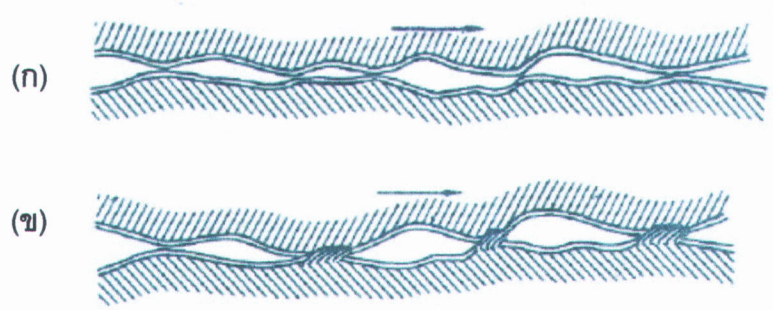
ปริทรรศน์วรรณกรรม

การเกาะติดมักพบบ่อยในการขึ้นรูปชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งเกาะติดได้ง่ายหรือเกิดการส่งถ่ายเนื้อโลหะจากผิวสัมผัสหนึ่งสู่อีกผิวสัมผัสหนึ่ง โดยเฉพาะเงื่อนไขการไถลแบบแห้งซึ่งเป็นปัญหาสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมเช่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่น แม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน ลูกรีดงานรีดเย็น เป็นต้น การเกาะติดทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเหล็กกล้าเครื่องมือแย่ลง

2.1 ลักษณะเกาะติด (adhesion)

การไถลของคู่สัมผัสแบบแห้งความรุนแรงของความเสียหายมักเกิดขึ้นจากการเกาะติดซึ่งการเกาะติดขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้คือ โครงสร้างจุลภาคของผิวสัมผัสทั้งสองหน้าที่สัมผัสกัน โครงสร้างของวัสดุพื้น (substrate) การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของผิวหน้า แรงกระทำ ณ บริเวณจุดสัมผัสและสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศการไถล [2]

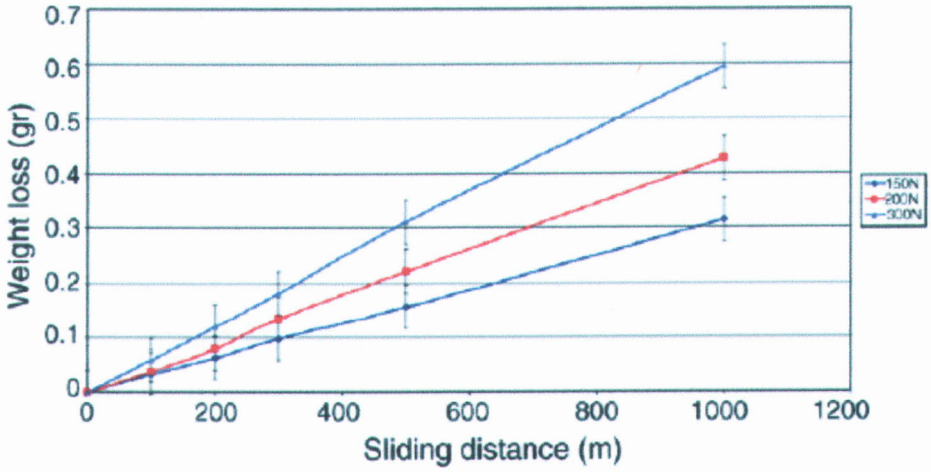
พื้นที่ผิวทางวิศวกรรมไม่มีพื้นผิวที่เรียบจริงและการไถลทำให้บริเวณผิวส่วนที่นูน (asperity) ไถลสัมผัสกันซึ่งทำให้อุณหภูมิที่ผิวสัมผัสการไถลสูงขึ้นแล้วเนื้อโลหะเชื่อมติดในสภาพของแข็งจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วฉีกออกเนื่องจากแรงเฉือนโดยเนื้อที่ผิวสัมผัสหนึ่งหลุดไปเกาะติดกับอีกผิวสัมผัสหนึ่ง พื้นที่ส่วนที่นูนเกิดการแปรรูปแบบพลาสติกเนื่องจากแรงกดที่มากระทำจนฟิล์มอ๊อกไซด์ของผิวโลหะถูกทำลายไปและเนื้อเหล็กสัมผัสกันโดยตรงเกิดการเยิ้มติด [3] แสดงในรูปที่ 2.1และผิวของโลหะที่มีความแข็งต่ำกว่าจะหลุดไปเกาะติดกับผิวที่มีความแข็งสูงกว่า เช่น กรณีของโลหะไถลกับเซรามิกหรือชั้นเคลือบผิวแข็ง



รูปที่ 2.1 แสดงการเกาะติด (ก) การไถลเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าชั้นฟิล์ม (ข) ชั้นฟิล์มที่แตกออกมีผลให้เนื้อที่ผิวของโลหะไถลสัมผัสกันโดยตรงและเยิ้มติดกัน [3]

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม

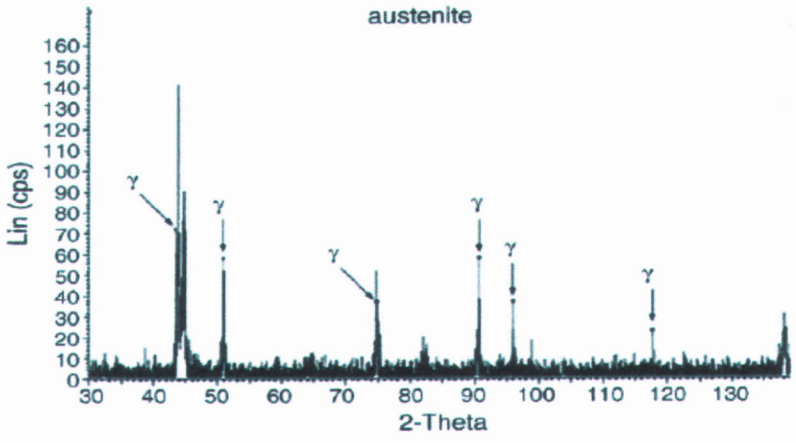
Morteza Zandrahimi, M. Reza bateni, A. Poladi, Jerzy A. Szpunar [4] ศึกษาการไถลของ AISI 52100 (pin) Ø 5 มม. บน AISI 304(disc) ด้วยเครื่องทดสอบแบบ pin-on-disc ที่ความเร็วการไถล 0.01 เมตรต่อวินาที แรงกด 100, 200 และ 300 นิวตัน พบว่าเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมสูญไปเพิ่มขึ้นตามแรงกดที่เพิ่มสูงขึ้นแสดงในรูปที่ 2.2



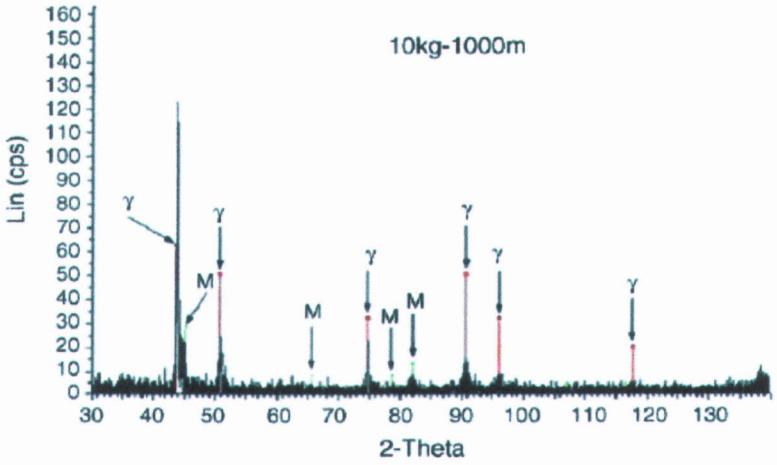
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมกับระยะทางที่แรงกดต่างๆ [4]

วิเคราะห์ผิวสัมผัสการไถลด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) พบว่าแรงกดมีผลให้เหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการเปลี่ยนเฟสจากออสเตไนท์เป็นมาร์เทนไซด์บางส่วนและเฟสมาร์-เทนไซต์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามแรงกดที่เพิ่มขึ้นบนเนื้อพื้นออสเตนไนท์แสดงในรูปที่ 2.3

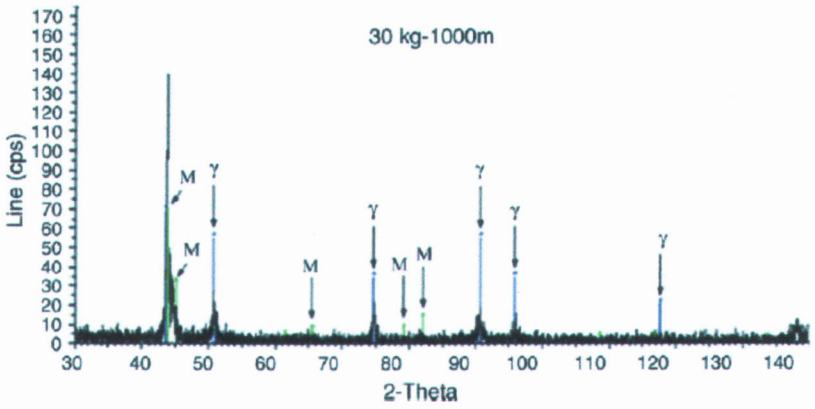
(ก)



(ข)

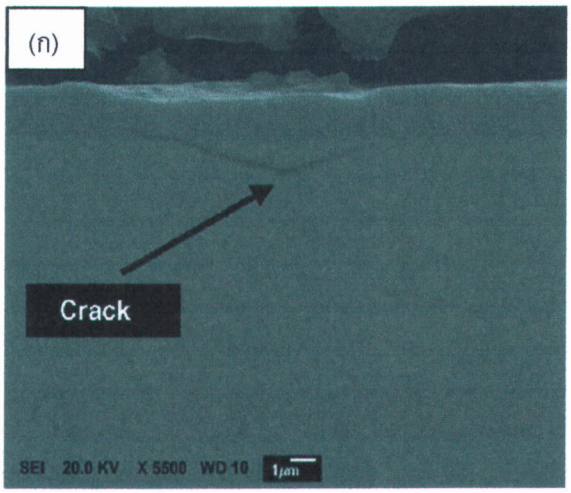


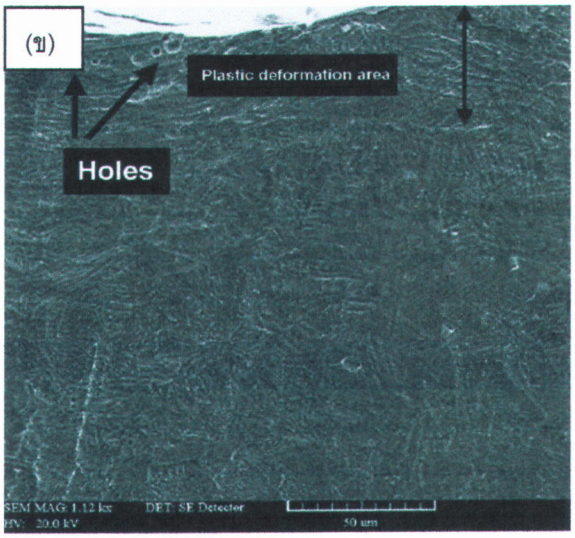
(ค)



รูปที่ 2.3 X-ray pattern ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 (ก) ก่อนทดสอบ (ข) แรงกด 200 N (ค) แรงกด 300 N [4]

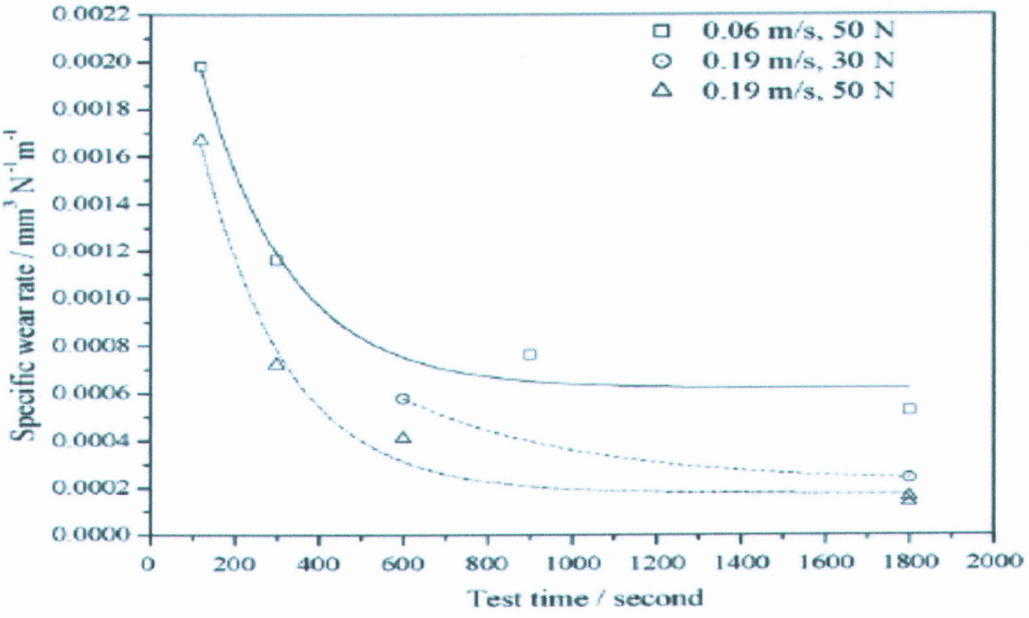
ลึกลงไปจากผิวการไถลของเหล็กกล้าไร้สนิมพบรอยแตก รูพรุนและการแปรรูปแบบพลาสติกใต้ผิวการไถลแสดงในรูปที่ 2.4





รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจากSEM (ก) รอยแตก (ข) การแปรรูปแบบพลาสติก [4]

Meng Hua, Xicheng Wei, Jian Li [5] ศึกษาพฤติกรรมเกาะติดของเหล็กกล้า-ไร้สนิม เกรด 304 (disc) กับ Al_2O_3 (ceramic ball) ทดสอบแบบ ball-on-disc ไถลโดยใช้สารหล่อลื่นภายใต้ความดันบรรยากาศ ใช้แรงกดในช่วง 10-50 นิวตันและความเร็วการไถลในช่วง 0.06-0.19 เมตร/วินาทีแสดงในรูปที่ 2.5

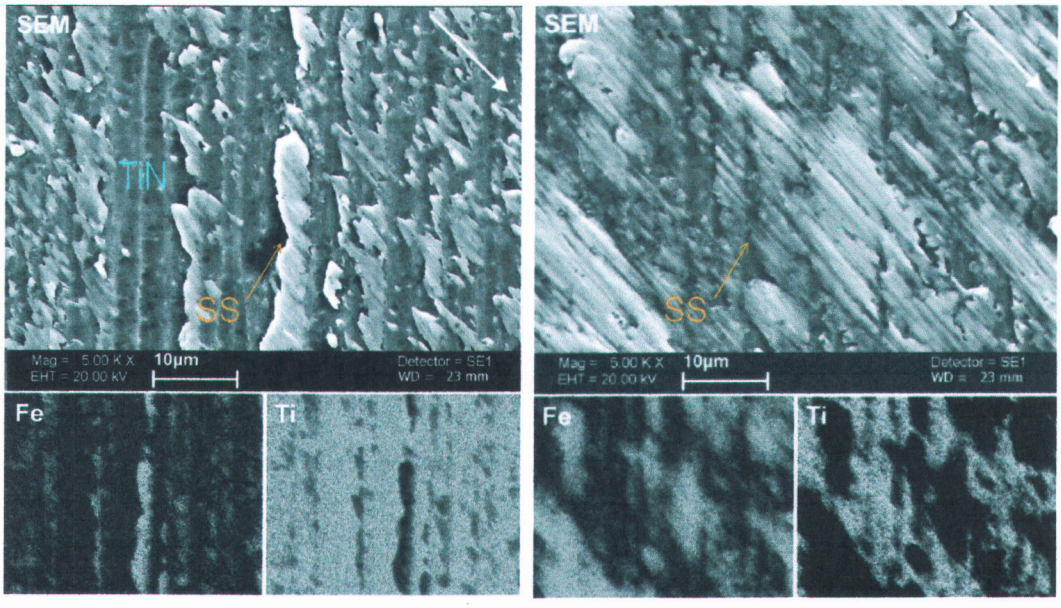


รูปที่ 2.5 Specific wear rate ของเหล็กกล้าไร้สนิมที่สูญไปกับเวลาที่ใช้ในการไถลภายใต้เงื่อนไขการแปรผันความเร็วและแรงกด [5]

พบว่าค่า Specific wear rate ลดลงตามเวลาการไถลที่เพิ่มขึ้นและที่แรงกด 50 นิวตันตั้งแต่เวลาการไถล 1,000 วินาที Specific wear rate มีค่าคงที่ อาจเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนเฟสที่ใต้ผิวการไถลของเหล็กกล้าไร้สนิมจากเฟสออสเตไนท์ (γ) เป็นเฟสมาร์เทนไซต์ (α') บางส่วนเพิ่มขึ้นตามระยะทางการไถลที่เพิ่มสูงขึ้น เหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณใต้ผิวการไถลจึงมีความแข็งเพิ่มขึ้นซึ่งต้านทานการเกาะติดได้ดีขึ้น

2.3 การเกาะติดบนชั้นเคลือบและอิทธิพลของอ๊อกไซด์ที่ผิวสัมผัสการไถล

B. Podgornik, S. Hogmark, and O. Sandberg [6] ศึกษาพฤติกรรมการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมโดยชั้นไทเทเนียมไนตรายด์เป็นคู่สัมผัสการไถล ทดสอบด้วยเครื่อง Load scanner วิเคราะห์ผิวการไถลด้วยเครื่อง Energy dispersive electron spectroscopy (EDS) พบว่าการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะการเกาะติดซ้อนทับในบริเวณที่มีการเกาะติดเดิมแล้วการเกาะติดขยายออกไปยังบริเวณรอบ ๆ ที่แรงกดเพิ่มสูงขึ้นแสดงในรูปที่ 2.6

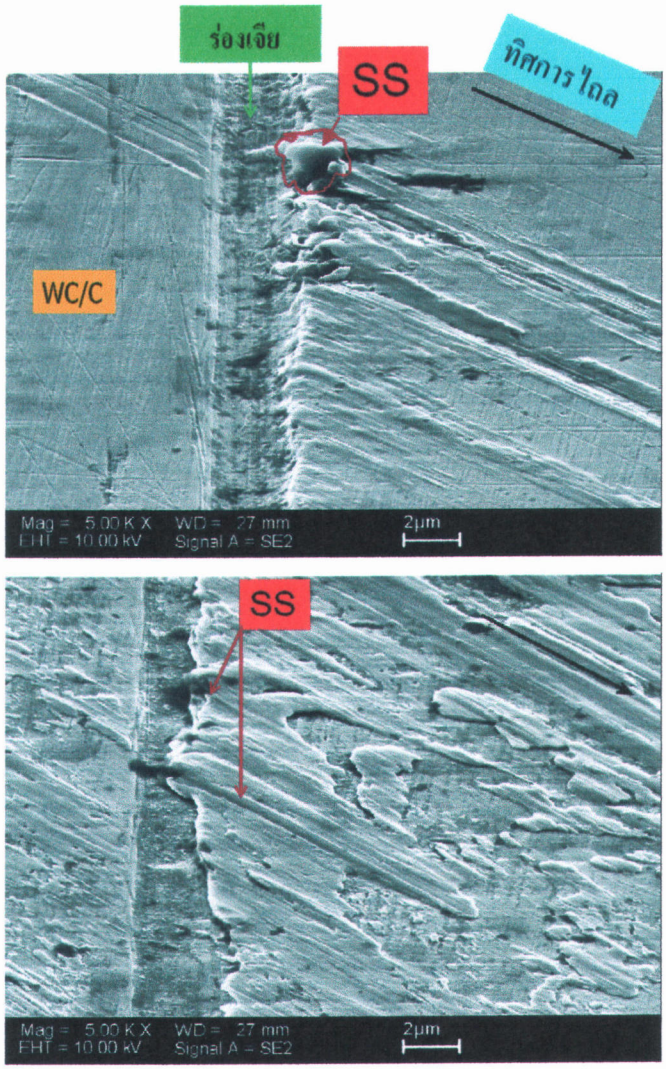


(ก) 300 N (ข) 600 N

รูปที่ 2.6 ผลวิเคราะห์ธาตุบนชั้นไทเทเนียมไนตรายด์ที่ไถลคู่กับเหล็กกล้าไร้สนิมที่แรงกด (ก) 300 N และ (ข) 600 N [6]

การเกาะติดเป็นกระบวนการเชื่อมติดกันภายใต้สภาวะของแข็ง (solid – phase welding process) และเป็นที่ทราบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีแนวโน้มเกิดการเกาะติดกับเหล็กเครื่องมือได้ง่ายเพราะเหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติเหนียว

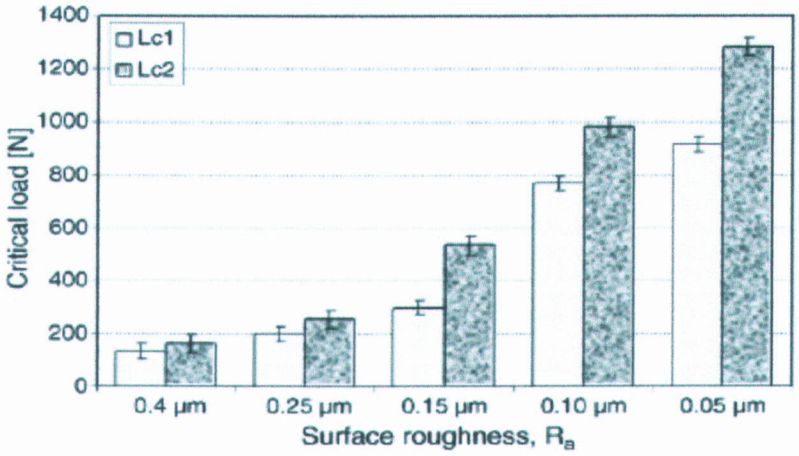
B. Podgornik S. Hogmark O. Sandberg [6], [7] ศึกษาเกี่ยวกับการเกาะติดที่เริ่มเกิดขึ้นบนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือซึ่งได้ปรับปรุงผิวโดยการชุบแข็ง (hardening) กระบวนการพลาสมาไนไตรดิงและการเคลือบ (coating) อีกทั้งยังปรับปรุงความหยาบผิว (roughness) โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นคู่สัมผัสการไถล ซึ่งการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมเริ่มเกิดขึ้นตรงขอบคมของร่องเจียบนเหล็กกล้าเครื่องมือและเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อให้แรงกดสูงขึ้น แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดบน wc/c เมื่อให้แรงกด ก) 800 N ข) 1000 N [7]

ทดสอบการเกาะติดโดยใช้เหล็กเครื่องมือ VANADIS 6 ไถลคู่กับเหล็กกล้าไร้สนิมแบบไม่ใช้สารหล่อลื่นภายใต้ความดันบรรยากาศด้วยเครื่อง Load scanner พบว่าความหยาบผิวสูง 0.4 – 0.25 ไมโครอนจะเกิดการเกาะติดบนผิวสัมผัสการไถลตั้งแต่แรงกดต่ำๆ

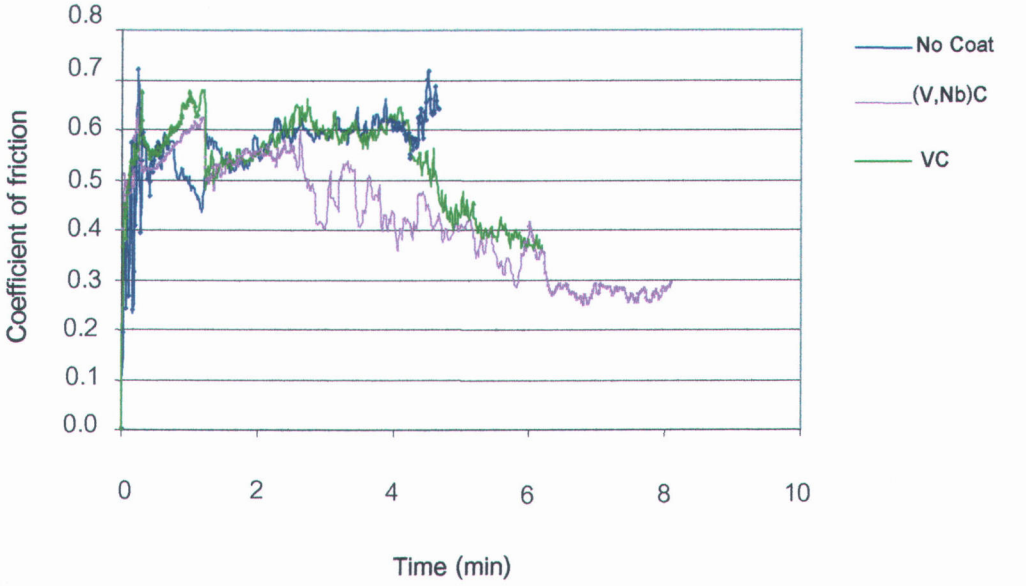
(Lc1) และเกาะติดปกคลุมทั่วผิวโลหะที่แรงกดสูง (Lc2) ความหยาบผิว 0.15, 0.10 และ 0.05 ไมครอนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานการเกาะติดได้ แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับแรงกดเมื่อเริ่มเกิดการเกาะติดที่แรงกด Lc1 (กราฟแท่งสีขาว) และการเกาะติดปกคลุมผิวที่แรงกด Lc2 (กราฟแท่งสีดำ) [7]

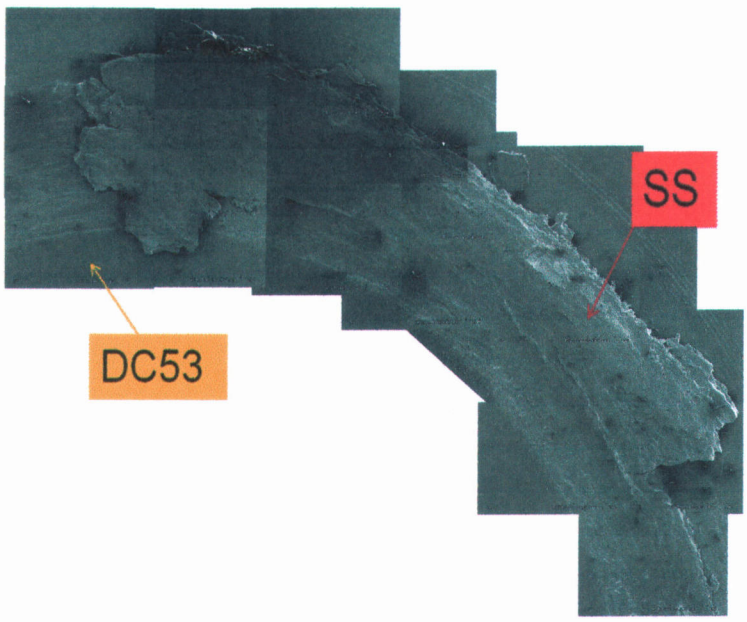
ความหยาบผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน 0.4 ไมครอนและ 0.25 ไมครอนเกิดการเกาะติดปกคลุมที่ผิวโลหะเมื่อให้แรงกด 180 นิวตันและ 250 นิวตัน ความหยาบผิว 0.15 ไมครอน การเกาะติดปกคลุมที่ผิวโลหะที่แรงกดสูง (Lc2) เกือบ 600 นิวตัน ดังนั้นความหยาบผิว (Ra) ที่เหมาะสมควรต่ำกว่า 0.15 ไมครอนจึงต้านทานการเกาะติดได้ดี

ดนุพล เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์ [8] ศึกษาการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไถลบนชิ้นงานชุบแข็ง ชั้นวาเนเดียมคาร์ไบด์และชั้นวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ ทดลองให้ความเร็วรอบการหมุนวงแหวนเริ่มต้น 100 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มขึ้นอีกนาทีละ 300 รอบต่อนาที โดยมีแรงกด 500 นิวตัน แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเวลาการไถลของดิสก์ชุบแข็ง ชั้นวาเดียมคาร์ไบด์และชั้นวาเนเดียมไนโอเบียมคาร์ไบด์ [8]

ที่เวลาการไถลเกือบ 5 นาทีพบว่า เหล็กชุบแข็งมีเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมมาเกาะติดที่ผิวหนากว่าชั้นวาเนเดียมคาร์ไบด์และวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ โดยเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมเกาะผิวชิ้นงานดิสก์ชุบแข็งหนา 430 ไมครอน แสดงในรูปที่ 2.10

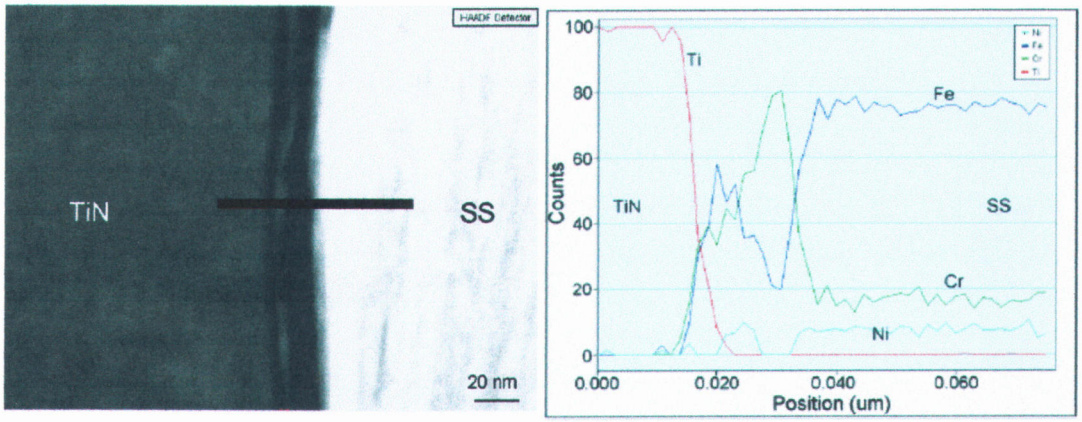


รูปที่ 2.10 จาก SEM แสดงการเกาะติดของเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมบนชิ้นงานดิสก์ชุบแข็ง [8]

สำหรับชั้นวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์เมื่อความเร็วการไถลเพิ่มขึ้นความร้อนสะสมที่ผิวการไถลเพิ่มขึ้นจนวงแหวนเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการร้อนแดงและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อย ๆ ลดลง และคงที่ 0.35-0.40 ตั้งแต่นาทีที่ 6 ของเวลาการไถล

2.3.2 การเกิดอ๊อกไซด์ที่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมช่วยลดการเกาะติดบนชั้นเคลือบ

M. Hanson, N. Stavlid, E. Coronel and S. Hogmark [9] ศึกษาพฤติกรรมการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนชั้นเคลือบไทเทเนียมไนตราย์ พบว่าการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมอาจเป็นการสะสมชั้นอ๊อกไซด์ของเหล็กอ๊อกไซด์-โครเมียมอ๊อกไซด์บนผิวชั้นเคลือบแล้วเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมมาเกาะเหนือชั้นอ๊อกไซด์แสดงในรูปที่ 2.11



(ก) (ข)

รูปที่ 2.11 (ก) รอยต่อระหว่างชั้นไทเทเนียมไนตรายด์กับเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมที่หลุดมาเกาะติด (ข) EDS-line scan ตามเส้นสีดำใน (ก) [9]

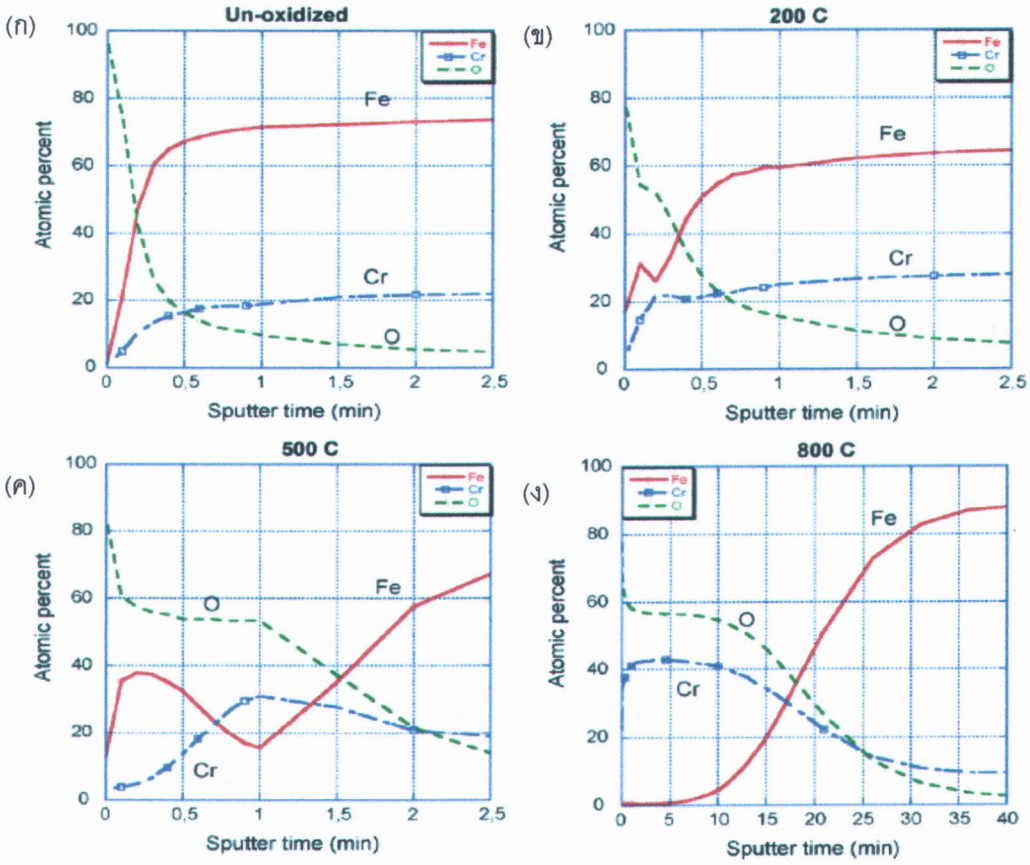
ภายหลังการทดสอบได้ตรวจวิเคราะห์บริเวณผิวสัมผัสการไถลของชั้นเคลือบที่มีเหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดด้วยเครื่อง EDS พบว่ามีอ๊อกไซด์ของเหล็กหนาประมาณ 10 นาโนเมตรจากผิวที่เหล็กกล้าไร้สนิมเกาะติดและซ้อนทับด้วยอ๊อกไซด์ของโครเมียมแล้วปกคลุมด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นไปได้ว่าการเกาะติดของอ๊อกไซด์ของเหล็กและอ๊อกไซด์ของโครเมียมที่ผิวไทเทเนียมไนตรายด์อาจเป็นพฤติกรรมที่นำไปสู่การเกาะติดของเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมในเวลาต่อมา

วิเคราะห์เหล็กกล้าไร้สนิมที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C ด้วยเครื่อง ESCA พบว่ามีปริมาณธาตุโครเมียมต์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเป็นอ๊อกไซด์ของโครเมียมที่เกิดขึ้นที่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอมของธาตุบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการให้ความร้อน ณ อุณหภูมิต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน [9]

ชิ้นงาน	% O_2	% Fe	% Cr
Un-oxidized	82.1	14.4	3.5
200 °C	79.8	18.2	1.9
500 °C	77.7	18.1	4.1
800 °C	82.2	1.8	16.0

ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุลึกจากผิวเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยเครื่อง ESCA แสดงในรูปที่ 2.12 พบว่าผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 800 °C มีปริมาณโครเมียมสูง16%โดยอะตอมขณะที่ธาตุเหล็กมีอยู่เพียง 1.6%โดยอะตอมที่อุณหภูมิ 200°C และ 500°C ที่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมมีปริมาณธาตุโครเมียมน้อยกว่าเหล็ก



รูปที่ 2.12 ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ESCA ลึกจากผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการให้ความร้อน (ก) Un-oxidized (ข) 200°C (ค) 500°C (ง) 800°C [9]

สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C ก่อนการทดสอบ อาจเป็นไปได้ว่าอ๊อกไซด์ของโครเมียมมีความแน่นเพียงพอที่จะต้านทานการเกาะติดไม่ให้เกิดขึ้นได้ชั่วขณะหนึ่ง

การเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกาะติดตามที่ได้กล่าวมาย่อมช่วยลดความรุนแรงของการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือลงได้เพื่อให้สามารถใช้งานเหล็กกล้าเครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 17 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247782
เลขเรียกหนังสือ