

รายงานปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

“การศึกษาวัสดุป้องกันรอยขีดข่วนของพื้นผิวเหล็ก”

โดย

นาย กীরตินาท อัจฉาภา

B4508816

ปฏิบัติงาน ณ

บริษัท สหวิริยาสติลอนด์สตรี จำกัด (มหาชน)

9 หมู่ 7 ต.แม่รำพึง อ.บางสะพาน จ. ประจวบคีรีขันธ์ 77140

บริษัทสหวิทยาสถิตอินดัสตรี จำกัด (มหาชน)
9 หมู่ 7 ต. แม่รำพึง อ. บางสะพาน
จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77140

15 ธันวาคม 2549

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ ดร.กัณทิมา สิริจิระชัย อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ตามที่ข้าพเจ้า นาย กิรตินาท อัจฉาภา นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (424491) ระหว่าง
วันที่ 16 กันยายน ถึง 22 ธันวาคม 2549 ในตำแหน่งวิศวกรควบคุมการผลิต (Process Engineer) ณ
บริษัทสหวิทยาสถิตอินดัสตรีจำกัด (มหาชน) และได้รับมอบหมายจากวิศวกรที่ปรึกษาให้ศึกษาและ
ทำรายงานเรื่องศึกษาวัสดุป้องกันรอยขีดข่วนของพื้นผิวเหล็ก

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อม
กันนี้ จำนวน 1 เล่มเพื่อขอคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

กิรตินาท อัจฉาภา

(นาย กิรตินาท อัจฉาภา)

นักศึกษาสหกิจศึกษาสาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการศึกษาวัสดุป้องกันรอยขีดข่วนของพื้นผิวเหล็กโดยปัญหาเกิดขึ้นในถังกรดของกระบวนการผลิตเหล็ก ซึ่งเกิดจากหินแกรนิตเป็นรอยบากดังนั้นจึงได้เกิดโครงการนี้ขึ้น โดยวัสดุที่จะเป็นวัสดุกัน Scratch ในถังกรดได้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้ ประการแรกคือทนต่อกรดซึ่งมีความเข้มข้น 13-16 %HCl ประการที่ 2 คือ ทนต่อการขัดสี (Wear Rate) ประการที่ 3 คือ ทนต่ออุณหภูมิ และประการสุดท้ายคือมีความแข็งแรงน้อยกว่าความแข็งของเหล็กแผ่นซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด Scratch และ วัสดุที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 7 ชนิดคือ DURO STONE: DELTHERM, EPOXY FR4-G11, HDPE-1000 STARLITE: 15610, BAKALITE, HDPE-1000, NYLATRON - MC901 และ ERTALON - 6PLA

โดยมีการดำเนินการดังนี้ [1] ทำการทดสอบความแข็งพบว่า DURO STONE: DELTHERM มีความแข็งมากกว่าความแข็งเหล็ก คือ 57 RWB จึงไม่เหมาะสมเป็นวัสดุป้องกันรอยขีดข่วนของพื้นผิวเหล็ก [2] ทำการทดสอบการทนต่อกรด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือกรณีแรกทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 20% wt, 85 °C กรณีที่ 2 ทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 25% wt, 85 °C พบว่า NYLATRON - MC901 และ ERTALON - 6PLA ไม่ทนกรดจึงตัดทิ้ง [3] ทำการทดสอบ Wear Rate โดยใช้เครื่องเจียรระไนและไบมิดเจียรระไนทำมาจากเหล็กแผ่นที่ได้จากการผลิตซึ่ง EPOXY FR4-G11 มีการทดสอบการสึกของวัสดุ (wear rate) มากที่สุดคือ 66.96 mm/hr ส่วน BAKALITE มีการบวมของชิ้นงานสูงมากและมีอัตราการ สึกสูงจึงไม่เหมาะสม

ดังนั้นจึงทำการเลือก STARLITE: 15610 เป็นวัสดุป้องกันรอยขีดข่วนของพื้นผิวเหล็ก

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ประวัติของบริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน)	1
- ปรัชญาบริษัทฯ	2
- กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (Plant Hot Strip Mill)	5
- Hot Finishing Line	8
- PICKLING & OILING LINE	13
บทที่ 2 งานที่ได้รับมอบหมาย	22
บทที่ 3 ศึกษาวัสดุกันป้องกันรอยขีดข่วนของพื้นผิวเหล็ก	23
- ที่มาของปัญหา	23
- ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	26
- ความแข็ง (Hardness)	26
1 การทดสอบความแข็งร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test)	28
2 การทดสอบความแข็งบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)	35
3 การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)	38
4 การทดสอบความแข็งน็อพ (Knoop Hardness Test)	40
5 ทดสอบความแข็งด้วยชอร์ (Shore)	41
- อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	47
- วิธีทดลอง	47
- ผลการทดลอง	49
- วิเคราะห์ผลการทดลอง	57
- สรุปผลการทดลอง	59
- เอกสารอ้างอิง	60
- ภาคผนวก	61

สารบัญรูปลูกภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.1: ภาพแสดงวัตถุดิบที่เป็นแท่งเหล็กแบน (slab)	5
รูปที่ 1.2: ภาพแสดงเตาเผา (reheating Furnace)	5
รูปที่ 1.3: เครื่องชำระล้างสนิม (High Pressure De-Scaling Unite)	6
รูปที่ 1.4: เครื่องรีดขอบและเครื่องรีดหยาบ (Edger & Roughing Mill)	6
รูปที่ 1.5: เครื่องม้วนพักและเครื่องตัด (Coil Box and Crop Shear)	6
รูปที่ 1.6: เครื่องรีดละเอียด (Finishing Mill)	7
รูปที่ 1.7: เครื่องระบายความร้อน (Cooling Bed & Laminar Flow)	7
รูปที่ 1.8: เครื่องม้วนเหล็กแผ่น (Down-coiler)	8
รูปที่ 1.9: เครื่องรีดผิวเรียบ (Skin-Pass Machine)	9
รูปที่ 1.10: Mandrel Entry	12
รูปที่ 1.11: Anti Coil Break	12
รูปที่ 1.12: Pinch Roll No.1	12
รูปที่ 1.13: Flattener	13
รูปที่ 1.14: EMG#1	13
รูปที่ 1.15: Encoder Roll Entry	13
รูปที่ 1.16: Feeder Roll Entry	13
รูปที่ 1.17: Crop Shear Entry	14
รูปที่ 1.18: Pinch Roll No.2	14
รูปที่ 1.19: Stitcher	14
รูปที่ 1.20: Notcher	15
รูปที่ 1.21: Bridle Roll Entry – Exit	15
รูปที่ 1.22: Leveler Roll	15
รูปที่ 1.23: Pickling Tank	16
รูปที่ 1.24: Squeegee Roll No.6	16
รูปที่ 1.25: Squeegee Roll No.2-14	16
รูปที่ 1.26: Rinse Tank	17
รูปที่ 1.27: Squeegee Roll No.13-14	17

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.28: Air Dryer	18
รูปที่ 1.29: EMG#2	18
รูปที่ 1.30: Pinch Roll No.3	18
รูปที่ 1.31: Looping Pit	18
รูปที่ 1.32: Pinch Roll No.4	19
รูปที่ 1.33: EMG#3	19
รูปที่ 1.34: Encoder Roll Exit	19
รูปที่ 1.35: Trimming	19
รูปที่ 1.36: Bridle Roll Exit	20
รูปที่ 1.37: Electronic Coating Technology (ECT)	20
รูปที่ 1.38: Crop Shear Exit	20
รูปที่ 1.39: Pinch Roll No.5	21
รูปที่ 1.40: Mandrel Exit	21
รูปที่ 1.41: Belt Wrapper	21
รูปที่ 3.2: Strip ที่มีความกว้าง 5ฟุต โดยจะเห็น Scratch ที่ 4 ฟุต	23
รูปที่ 3.1: Strip ที่มีความกว้าง 4 ฟุต	23
รูปที่ 3.3.1: หินแกรนิตที่เกิดรอยบาก เนื่องจาก Strip กว้าง 4 ฟุต	24
รูปที่ 3.3.2: หินแกรนิตที่เกิดรอยบาก เนื่องจาก Strip กว้าง 4 ฟุต	24
รูปที่ 3.4: รูปของ Coil	25
รูปที่ 3.5: รูปคนตัดสายรัด Coil	25
รูปที่ 3.6: Rockwell Principle	28
รูปที่ 3.6.1: Rockwell test	29
รูปที่ 3.7: Rockwell Superficial Principle	32
รูปที่ 3.7.1: digital display for Rockwell A, B, C and superficial hardness testing.	33
รูปที่ 3.8: Brinell Hardness Test	35
รูปที่ 3.8.1: Brinell Hardness Tester	37

รูปที่ 3.9: Vickers Hardness Tester

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.9: Knoop Hardness Test	41
รูปที่ 3.10: Shore A vs. Shore D	42
รูปที่ 3.11: Shore D vs. Rockwell M	43
รูปที่ 3.12: Hardness comparison scale of some materials	43
รูปที่ 3.13: Comparison of hardness scales	44
รูปที่ 3.14: For hardness determination of plastics and elastomers According to A, D, B, C, DO, O and OO scales	45
รูปที่ 3.15: The digital durometer	46
รูปที่ 3.16: Digital Low Load Tester for Vickers, Brinell, and Knoop Load range HV 0.1 - HV 30	46
รูปที่ 3.17: แสดงภาพการทดลอง	47
รูปที่ 3.18: การทดสอบ Wear Rate	48

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 3.1: Rockwell Hardness Scales	30
ตารางที่ 3.2: Rockwell Superficial Hardness Scales	34
ตารางที่ 3.3: The summary table for different hardness testing methods	45
ตารางที่ 3.4: ผลการวัดค่าความแข็ง (Hardness)	49
ตารางที่ 3.5: CASE 1 AT 85 °C, 20% HCl	51
ตารางที่ 3.6: CASE 2 AT 85 °C, 25% HCl	53
ตารางที่ 3.7: ผลการทดลองจุ่มวัสดุลงใน Tank กรด	55
ตารางที่ 3.8: ผลการวัดค่า Wear Rate ซึ่งทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C, 1atm	56

บทที่ 1 ประวัติของบริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน)

บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างกลุ่มบริษัทของคนไทยและต่างชาติ ซึ่งมีความรู้ความเชี่ยวชาญ ทั้งทางด้านเทคโนโลยี การตลาดและการผลิต ประกอบด้วยกลุ่มบริษัทในเครือสหวิริยา ซึ่งเชี่ยวชาญในด้านอุตสาหกรรมผลิต และจำหน่ายเหล็กมานานกว่า 40 ปี กลุ่มประเทศอิตาลีซึ่งมีความชำนาญทางด้านวิศวกรรม และเทคโนโลยีขั้นสูง กลุ่มสถาบันการเงินให้ความสนับสนุนทางการเงินและกลุ่มลูกค้า และจำหน่ายเหล็กกับซื้อผลิตภัณฑ์จากบริษัทฯ และจัดหาช่องทางทางการจัดจำหน่าย ดังนั้น สหวิริยาฯ จึงเป็นบริษัทที่มีศักยภาพอันมั่นคงและก้าวหน้าในการพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นรีดร้อนในประเทศไทย

โรงงานของบริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ใช้เงินลงทุนกว่า 15,000 ล้านบาท ตั้งอยู่บนพื้นที่ 900 กว่าไร่ ที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นโรงงานผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนที่ใหญ่และทันสมัยที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และห่างออกไปประมาณ 5 กิโลเมตร จะเป็นที่ตั้งของท่าเรือน้ำลึกที่ลึกที่สุดในประเทศไทย ซึ่งมีร่องน้ำลึก 15 เมตร สามารถรองรับเรือเดินสมุทรขนาด 21 แสตันตัน เคยได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน โดยบริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ได้ร่วมลงทุนกว่าร้อยละ 50 เพื่อเป็นประโยชน์ในการขนถ่ายวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เหล็ก โรงงานผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนแห่งนี้ ใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจากประเทศอิตาลี ซึ่งเป็นประเทศที่ผลิตเครื่องจักรรีดเหล็กแผ่นชนิดม้วนที่ทันสมัยที่สุดแห่งหนึ่งของโลก สามารถผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนด้วยกำลังการผลิต 1.8-2.4 ล้านตันต่อปี โดยใช้กรรมวิธีที่ทันสมัยจากเหล็กแท่งแบน (Slab) น้ำหนัก 5-32 ตันมีความหนา 160-250 มิลลิเมตร นำมาเผาในเตาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส แล้วทำการรีดให้ได้แผ่นเหล็กที่มีความหนา 1.2-12 มิลลิเมตร และขดเป็นม้วน เทคโนโลยีการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนของบริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) นับเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง เพราะสามารถรีดเหล็กได้บางที่สุด 1.2 มิลลิเมตร จึงเป็นเพียง 1 ใน 3 ของโลกเท่านั้น

ประเภทธุรกิจ : ผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (HOT ROLLED STEEL SHEET IN COILS)

กำลังการผลิตสูงสุด : 2.4 ล้านตัน / ปี

วัตถุดิบ : เหล็กแท่งแบนจากต่างประเทศ

ประวัติ : มีนาคม 2533

จดทะเบียนก่อตั้งบริษัท

สิงหาคม 2533

ได้รับการอนุมัติการส่งเสริมการลงทุนจาก BOI

กุมภาพันธ์ 2537

เริ่มดำเนินการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (HSM, HFL)

กุมภาพันธ์ 2537

จดทะเบียนเป็นบริษัทมหาชน

กันยายน 2537

บริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

เมษายน 2540

ได้รับใบรับรองระบบคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9002 จากสถาบัน Lloyd's

Register Quality Assurance Limited

มิถุนายน 2540	เริ่มดำเนินการผลิต SKP #2
พฤษภาคม 2542	ได้รับรางวัลชมเชยระดับภูมิภาค ประเภทสถาบันประกอบการดีเด่นด้านความปลอดภัยจาก กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม
มกราคม 2543	ได้รับใบรับรองระบบคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 14001 จากสถาบัน Lloyd's Register Quality Assurance Limited
เมษายน 2543	ต่อใบรับรองคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9002 จากสถาบัน Lloyd's Register Quality Assurance Limited
กรกฎาคม 2543	ได้รับรางวัลสถานประกอบการดีเด่นด้านความปลอดภัยจากกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม
กันยายน 2543	ได้รับรางวัลอุตสาหกรรมดีเด่นแห่งชาติ ประเภทการเพิ่มผลผลิตจากกระทรวงอุตสาหกรรม
กันยายน 2543	ได้รับใบรับรองในฐานะที่เป็นสถานประกอบการที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามโครงการขยายผลการตรวจคุ้มครองแรงงานหญิงและเด็ก เพื่อสนับสนุนการส่งออก จากสำนักงานสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม
เมษายน 2544	ได้รับรางวัลสถานประกอบการดีเด่น ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ระดับจังหวัดจากกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม
พฤษภาคม 2544	ได้รับรางวัลอุตสาหกรรมดีเด่น ประเภทการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม จากกระทรวงอุตสาหกรรม
พฤษภาคม 2544	ได้รับรางวัลสถานประกอบการดีเด่น ด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ระดับประเทศ จากกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม
กรกฎาคม 2544	ได้รับรางวัลประกวดการอนุรักษ์พลังงานดีเด่น ประเภทโรงงานควบคุมที่อนุรักษ์พลังงาน จากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
กันยายน 2544	ได้รับรางวัลสถานประกอบการที่มีการจัดการและรักษาคุณภาพ สิ่งแวดล้อม ตามมาตรการในรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมดีเด่น

ปรัชญาบริษัทฯ

บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ตั้งปณิธานแน่วแน่ ในการที่จะร่วมพัฒนาอุตสาหกรรม

ไทย ให้ก้าวไกลเคียงคู่กับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ด้วยการผสมผสานฝีมือที่มี ประสิทธิภาพในการผลิต

และเทคโนโลยีอันทันสมัย บนพื้นฐานของประสบการณ์เข้ากับระบบการจัดการที่ดี บริษัทฯ จึงมีปรัชญาในการทำงาน โดยมุ่งมั่นจะทำให้เกิดสิ่งที่ดีและมีคุณค่าแก่สังคม

- ผลิตและจำหน่ายสินค้าและบริการที่มีคุณภาพเป็นประโยชน์ต่อส่วนรวม
- มีความรับผิดชอบต่อสังคม
- สร้างผลกำไรและผลตอบแทนต่อผู้ถือหุ้นที่เหมาะสม
- พัฒนางองค์กรให้เป็นระบบที่ทันสมัยและเหมาะสมกับการเวลา โดยนักบริหารมืออาชีพ

บริษัทฯ ดำเนินนโยบายหลายๆด้าน เพื่อให้สอดคล้องกับปรัชญาขององค์กร เช่น การใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อให้เกิดการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ โดยไม่เกิดผลต่อสภาวะแวดล้อม เน้นการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้กำไรกลับคืนผู้ถือหุ้นในอัตราที่เหมาะสม ช่วยเหลือสังคมด้านการศึกษา และพัฒนาสาธารณูปโภค ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการสื่อสาร ระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยในการบริหารงาน สร้างทีมงานที่มีคุณภาพ และพัฒนาบุคลากร โดยการจัดฝึกอบรมทั้งในและต่างประเทศเพื่อให้มีคุณภาพเต็มศักยภาพ นี่เป็นเพียงก้าวแรกที่ บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ให้ความสำคัญต่อการผลิตอย่างยั่งยืน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยใช้วัตถุดิบเหล็กแท่งแบน ซึ่งได้มาตรฐานสากลตามมาตรฐาน JIS ,ASTM ,SAE ,UNI และ GOST เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบประเภท LOW CARBON STEEL มีความเหนียวสูงสามารถรีดและตีเป็นแผ่นได้ง่าย

กระบวนการผลิตทุกขั้นตอนถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ล้ำสมัยครบวงจร เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดและความเที่ยงตรงในการผลิต และระบบเครื่อง X-RAY จะทำหน้าที่ตรวจความหนา ความเรียบ และความสม่ำเสมอของแผ่นเหล็ก ตลอดจนกระบวนการผลิตอีกด้วย

ในการควบคุมคุณภาพสินค้าผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องผ่านการตรวจสอบจากห้องปฏิบัติการทางเทคนิคที่เปรียบพร้อมด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบทางกายภาพ เช่น TENSILE MACHINE ตรวจสอบความต้านทานแรงดึง HARDNESS TESTING MACHINE ตรวจสอบความแข็ง IMPACT TESTING MACHINE ตรวจสอบแรงต้านทานการกระแทก เป็นต้น และเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบทางเคมี เช่น SPECTROMETER, METAL URGRAPHIT และ CHEMICAL ANALYZER เป็นต้น

บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) มีความมุ่งมั่นที่จะมอบบริการที่ดีที่สุดให้แก่ลูกค้า โดยยึดหลักในการดำเนินการ 3 ประการ คือ การควบคุมคุณภาพที่มีประสิทธิภาพ กำหนดการผลิตที่รวดเร็ว และส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่เที่ยงตรงตามกำหนดเวลา และ สนองตอบต่อความพึงพอใจของลูกค้าให้มากที่สุด ด้วยวิทยาการขั้นสูง และ เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย ประกอบกับการเอาใจใส่ในทุกขั้นตอนการผลิต และการบริการทำให้บริษัทฯ มีความเชื่อมั่นว่าลูกค้าจะได้รับประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ อย่างสูงสุด

เพื่องานอุตสาหกรรมที่สำคัญหลายระดับ อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนของ บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) เป็นอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐาน ที่จำเป็น ต่อการประกอบอุตสาหกรรมขั้นอื่นๆ

ดังนั้นผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่นรีดร้อนของบริษัทฯ จึงเป็นวัตถุดิบจำเป็นที่ต้องนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่สำคัญ
 หลายๆประเภท อาทิ

- อุตสาหกรรมเหล็กโครงสร้างที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กรูปพรรณหน้าตัดต่างๆค้ำค้ำ
 - อุตสาหกรรมท่อเหล็ก เช่น ท่อน้ำมัน ท่อสตีม ท่อแก๊ส ท่อส่งน้ำ
 - อุตสาหกรรมรถยนต์ เช่น ตัวถังรถ คัสซี่ ขอบล้อ และชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ต่างๆ
 - อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและเฟอร์นิเจอร์
 - อุตสาหกรรมผลิตถังเหล็กและตู้เหล็ก เช่น ตู้รถไฟ ตู้รถบรรทุกสินค้า ตู้คอนเทนเนอร์
- ถังเหล็กรูปไข่บนรถไฟ รถบรรทุก รถน้ำมัน ถังเคมี ถังแก๊ส ถังโมลาส ถังเก็บพืชผลต่างๆ
- อุตสาหกรรมต่อเรือ เช่น เรือประมง เรือเหล็กบรรทุกสินค้า เรือเหล็กบรรทุกน้ำมัน

สร้างสรรค์สังคม จรรโลงสิ่งแวดล้อม

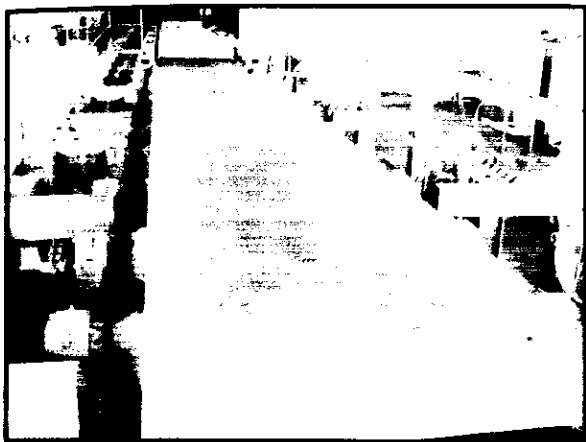
บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) สำนักในความรับผิดชอบต่อสังคมในการอนุรักษ์
 ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสุขภาพอนามัย ความปลอดภัยในชีวิตของประชาชนและพนักงาน ดังนั้น
 บริษัทฯ จึงได้วางระบบป้องกันและบำบัดที่ทันสมัย เพื่อมิให้มีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อ
 สภาพแวดล้อมและการดำเนินชีวิตของประชาชน น้ำมันที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพที่ดี
 ที่สุดและมีปริมาณกำมะถันไม่เกิน 1.25 % โดยน้ำหนักซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด
 ดังนั้นจึงมั่นใจว่าอากาศที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและไม่
 ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศแต่อย่างใดน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะถูกบำบัดโดยกระบวนการที่ทันสมัยที่สุด
 โดยผ่านกระบวนการที่ทันสมัยที่สุด โดยผ่านการกรองด้วยระบบ GRAVITY SAND FILTER และ PRESSUR
 SAND FILTER และ ผ่านการกรองด้วยระบบ OIL SMIMMER พอน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป
 จึงไม่มีน้ำเสียและไม่มีการปล่อยน้ำทิ้งเพื่อให้เกิดมลภาวะแต่อย่างใด อีกทั้งยังเป็นการประหยัดน้ำอีกด้วย
 บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) มีความมุ่งมั่นส่งเสริมสังคมไทยเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของคน
 ไทยให้ดีขึ้นด้วยการพัฒนาชุมชนและดำเนินโครงการอันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวม อาทิ โครงการให้
 พุนการศึกษาแก่เด็กนักเรียน โครงการห้องสมุดเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพฯ โครงการห้องสมุด
 รัชดาภิเษก

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (Plant Hot Strip Mill)

(Production Process)

เริ่มต้นจากการนำเหล็กแท่งแบน (Slab) ที่มีขนาดความกว้าง 750-1550 มิลลิเมตร ยาว 4300-10800 มิลลิเมตร หนา 160-255 มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 5-36 ตันป้อนเข้าเตาเผาและนำมารีดร้อนจะได้เหล็กแผ่นรีดร้อน

วัตถุดิบ



Slab

ความหนา : 160-255 mm

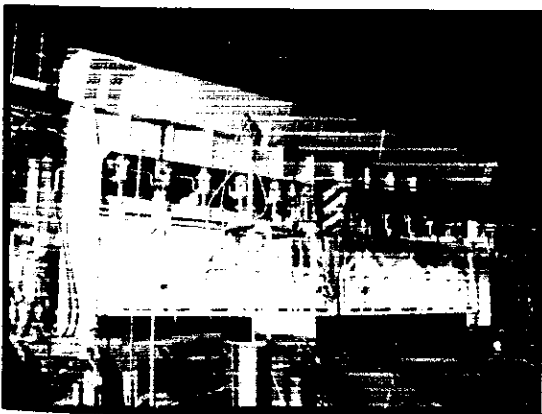
ความกว้าง : 750-1550 mm

ความยาว : 4300-10800 mm

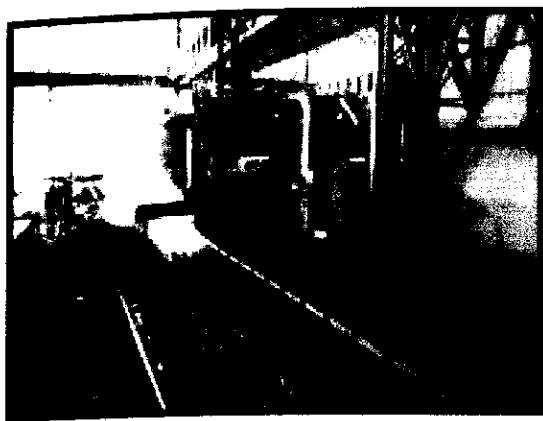
น้ำหนัก : สูงสุด 36 ton

รูปที่ 1.1: ภาพแสดงวัตถุดิบที่เป็นแท่งเหล็กแบน (slab)

-เตาเผา (Reheating Furnace) สามารถเผาเหล็กแท่งแบนได้ 275 ตัน/ชั่วโมง จะเผาเหล็กแท่งแบนให้ได้อุณหภูมิ 1250-1300 องศาเซลเซียส โดยจะใช้น้ำมันเตาที่มีปริมาณมีกำมะถันเจือปนไม่เกิน 1.25% เป็นเชื้อเพลิงในการเผา



รูปที่ 1.2: ภาพแสดงเตาเผา (Reheating Furnace)



High Pressure De-Scaling Unite

(เครื่องชำระล้างสนิมเหล็ก)

ที่ De-Scaling Box เหล็กแท่งแบนที่ถูกเผาจนร้อนตามต้องการแล้วจะถูกทำความสะอาดผิวด้วยการฉีดน้ำแรงดันสูง 160 บาร์ หรือ 180 เท่าของความดันบรรยากาศเพื่อแยกสนิมเหล็ก (Scale) ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณผิวเหล็กที่สัมผัสกับอากาศและออกซิเจนในขณะที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อไม่ให้สนิมเหล็กฝังเข้าไปในเนื้อเหล็กเมื่อผ่านเครื่องรีดในขั้นต่อไป

รูปที่ 1.3: เครื่องชำระล้างสนิม (High Pressure De-Scaling Unite)



Edger & Roughing Mill

(เครื่องรีดขอบและเครื่องรีดหยาบ)

เหล็กแท่งแบนที่ถูกกำจัดสนิมเหล็กแล้วจะเข้าผ่านเครื่องรีดขอบ (Vertical Edger) เพื่อลดขนาดความกว้าง และเครื่องรีดหยาบ (Roughing Mill) เพื่อลดความหนา โดยที่เครื่องรีดขอบจะมีอยู่ด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องรีดหยาบซึ่งเครื่องจักรทั้งสองประเภทจะทำงานพร้อมกัน โดย

รูปที่ 1.4: เครื่องรีดขอบและเครื่องรีดหยาบ (Edger & Roughing Mill)

เหล็กแท่งแบนจะถูกรีด กลับไปกลับมา 5 ถึง 7 ครั้ง (Reversing) เพื่อให้ได้ความหนา 28-32 mm และความกว้างตามที่ Order ของลูกค้าสำหรับเหล็กแท่งแบนที่ผ่านการรีดที่เครื่องรีดหยาบแล้วจะ เรียกว่า "เหล็กแผ่นหนา" (Steel Bar)



Coil Box and Crop Shear

(เครื่องม้วนพักและเครื่องตัด)

เหล็กแผ่นหนาที่ผ่านการรีดหยาบจะยาวขึ้นและบางลงเมื่อเทียบกับเหล็กแท่งแบนทำให้พื้นผิวของเหล็กสัมผัสอากาศเกิดการสูญเสียความร้อนมากขึ้นและทำให้เหล็กแข็งตัว Coil Box จึงมีหน้าที่ในการม้วนเหล็กแผ่นหนาเพื่อลดพื้นผิวเหล็กที่สัมผัสกับอากาศ และ ทำให้เหล็กแผ่นหนามีอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นด้วยการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 1.5: เครื่องม้วนพักและเครื่องตัด (Coil Box and Crop Shear)

ระหว่างกัน (Heat Conduction) อีกทั้งยังมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความยาวของ Line ลงอีกด้วยและบริเวณหัวและหางของเหล็กแผ่นหนาซึ่งมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าบริเวณอื่นจะถูกตัดทิ้งทันทีเมื่อเหล็กเคลื่อนออกโดยCrop Shear เพื่อสะดวกต่อการป้อนเข้าเครื่องรีดละเอียด

-ส่วนหัวของเหล็กแผ่นหนา จะถูกตัดให้ตรงด้วย เครื่องตัด (Crop Shear) เพื่อสะดวกต่อการป้อนเข้า เครื่องรีดละเอียด (Finishing Mill)

-สำหรับเครื่องรีดละเอียดนั้นจะมีทั้งหมด 7 เครื่อง จะทำหน้าที่ลดขนาดความหนาของเหล็กแผ่นหนาให้เป็น เหล็กแผ่นบาง (Steel Sheet) ซึ่งมีขนาดความหนา 1.0-19 มิลลิเมตร ความกว้าง 750-1550 มิลลิเมตร



รูปที่ 1.6: เครื่องรีดละเอียด (Finishing Mill)

-เหล็กแผ่นบางจะถูกส่งผ่าน เครื่องระบายความร้อน (Cooling Bed) เพื่อลดอุณหภูมิเป็นการรักษาโครงสร้างทางโลหะวิทยารวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ

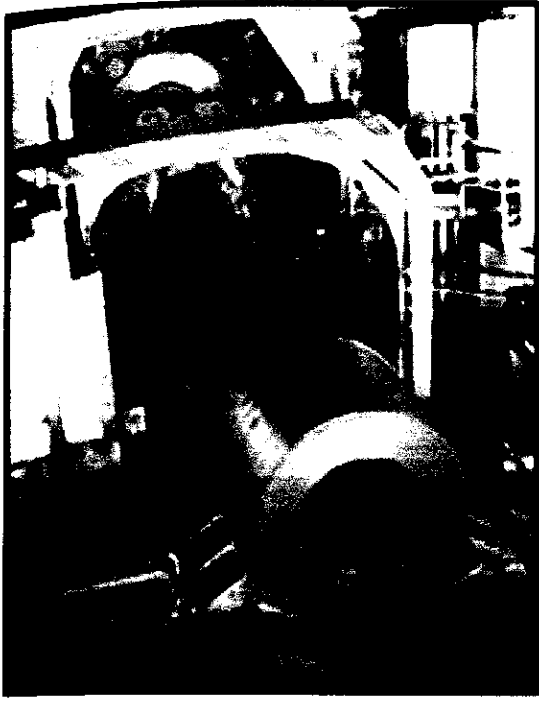


Cooling Bed & Laminar Flow

(เครื่องระบายความร้อน)

เหล็กแผ่นบางจะถูกส่งผ่านเครื่องระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิจาก 850-900 องศาเซลเซียสเหลือ 650 องศาเซลเซียสโดยประมาณเพื่อรักษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ

รูปที่ 1.7: เครื่องระบายความร้อน (Cooling Bed & Laminar Flow)



Down-Coiler (เครื่องมือม้วนเหล็กแผ่น)

-เมื่อผ่านเครื่องระบายความร้อนแล้ว ขั้นตอนต่อไปเหล็กแผ่นบางจะถูกม้วนด้วย เครื่องม้วน (Dow Coiler) และรัดด้วยแถบเหล็ก จะได้เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน ทั้งนี้ม้วนเหล็กที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 760 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1,200-2,000 มม. น้ำหนัก 5-36ตัน เมื่อผลิตแล้วเสร็จจะมีอุณหภูมิประมาณ 450-500 °C จึงต้องเก็บไว้ประมาณ 5-7 วัน เพื่อให้อุณหภูมิเย็นลงปกติ

รูปที่ 1.8: เครื่องม้วนเหล็กแผ่น (Down-coiler)

Hot Finishing Line

Hot Finishing Line เป็นกระบวนการผลิตเพิ่มเติม โดยวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนให้เหมาะสมตามการใช้งานของลูกค้าหรือตัดแบ่งให้มีน้ำหนักตามที่ลูกค้าต้องการรวมทั้งเป็นเครื่องตรวจสอบคุณภาพของผิวและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรของ Hot Finishing Line ประกอบด้วย Hot Finishing Line เป็นกระบวนการผลิตเพิ่มเติม โดยวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนให้เหมาะสมตามการใช้งานของลูกค้า หรือตัดแบ่งให้มีน้ำหนักตามที่ลูกค้าต้องการรวมทั้งเป็นเครื่องตรวจสอบคุณภาพของผิวและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรของ Hot Finishing Line ประกอบด้วย

Skin-Pass Machine (เครื่องรีดผิวเรียบ)

เป็นเครื่องปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผิวเรียบยิ่งขึ้น โดยใช้ลูกรีดกดทับลงบนเหล็กแผ่นบางที่ถูกคลี่ออกมาจากนั้นยังใช้ในการตัดแบ่งผลิตภัณฑ์ตามน้ำหนักที่ลูกค้าต้องการอีกด้วย



รูปที่ 1.9: เครื่องรีดผิวเรียบ (Skin-Pass Machine)

Shearing Line Machine (เครื่องกรอแบ่ง)

มีหน้าที่หลักในการตัดแบ่งเหล็กขนาดใหญ่ให้เป็นม้วนเหล็กขนาดเล็ก หรือปรับปรุงรูปทรง (Reshape) ตามความต้องการของลูกค้า

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน ประเภทล้างผิวและเคลือบน้ำมัน

(PICKLING & OILING LINE)



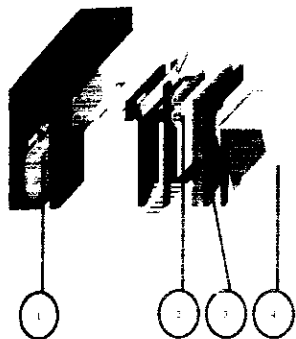
โรงงานล้างผิวและเคลือบน้ำมัน (Pickling and Oiling Line) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ Entry Section , Wet Section และ Exit Section โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนประเภทล้างผิวและเคลือบน้ำมัน จัดเป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนประเภทผิวสะอาด ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการป้องกันสนิม เหมาะสำหรับลูกค้าอุตสาหกรรมที่มุ่งเน้นในคุณภาพของสินค้าเป็นพิเศษ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือการตัดเป็นม้วนตามความหนาที่ต้องการ เพื่อใช้ในการขึ้นรูปและผลิตท่อเหล็ก

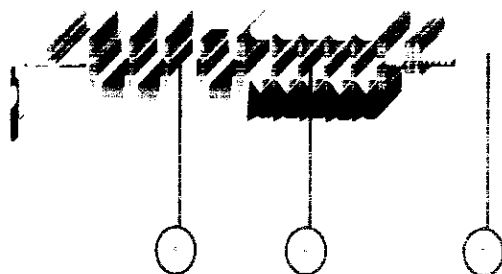
กระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์นี้ เริ่มด้วยการนำเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนคุณภาพสูงมาล้างทำความสะอาดผิว ด้วยกรรมวิธีเฉพาะเพื่อกำจัดสนิมออกให้หมดจดม้วนจัดเก็บพร้อมสำหรับส่งให้กับลูกค้าต่อไป

ผังกระบวนการผลิต P & O Line

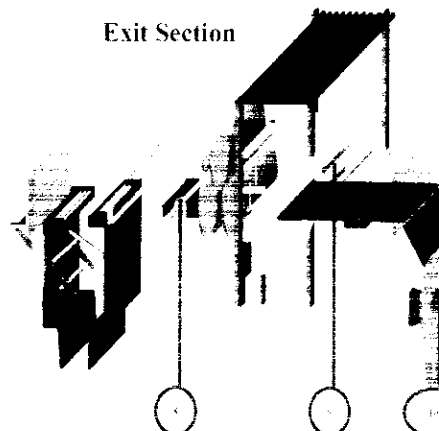
Entry Section



Wet Section



Exit Section



การทำงานของเครื่องจักรหลัก

1. Uncoiler

คลี่แผ่นเหล็กม้วนป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

6. Rinse Tank

ล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวแผ่น

2. Stitcher

เชื่อมต่อปลายและหัวแผ่นเหล็กเข้าด้วยกัน

7. Air dryer

กำจัดความชื้นออกจากผิวแผ่น

3. Notcher

ตัดส่วนปลายของแผ่นเหล็กที่เชื่อมต่อกันให้เสมอกัน

8. Side Trimmer

ตัดขอบแผ่นเหล็กทั้งสองข้างให้

กว้างสม่ำเสมอ

4. Tension Bridle & Leveller

ปรับให้แผ่นเหล็กมีความเรียบพิเศษ

9. Electrostatic Oiler

เคลือบน้ำมันบนผิวแผ่นเหล็ก

5. Pickling Tank

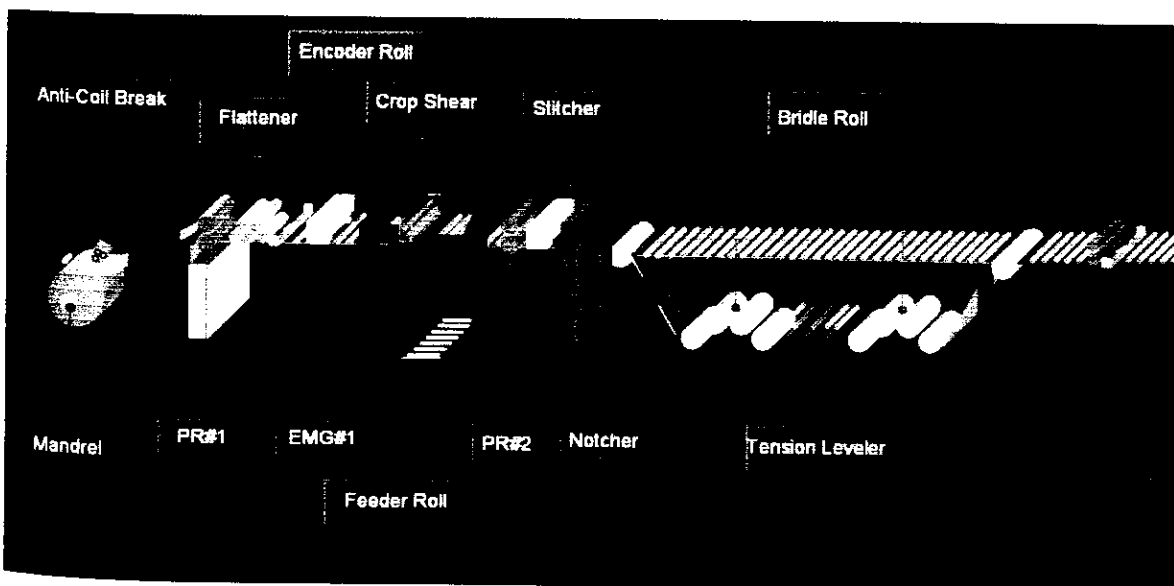
ล้าง Scale ออกจากผิวแผ่นเหล็ก

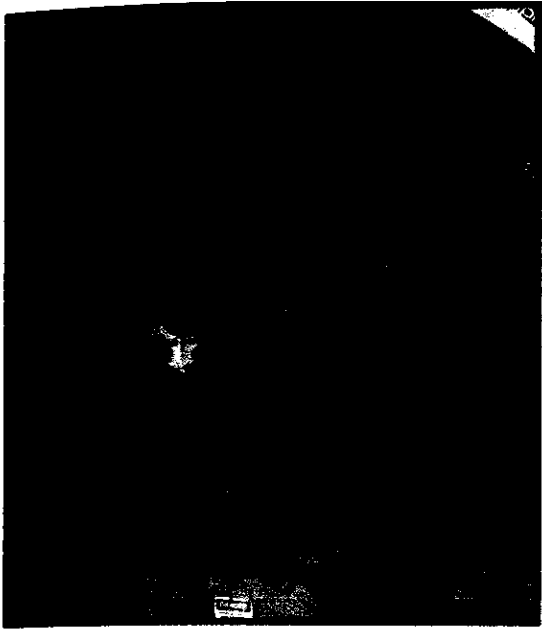
10. Recoiler

ม้วนแผ่นเหล็กที่ผ่านกระบวนการ

สมบูรณ์แล้วให้เป็น Coil

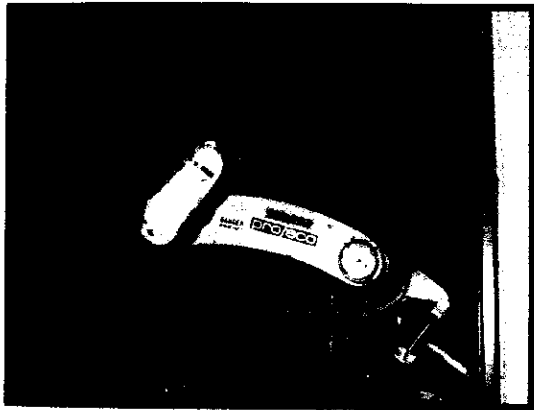
Entry Section





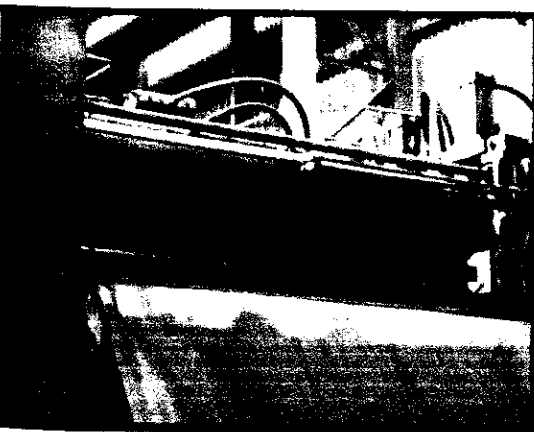
รูปที่ 1.10: Mandrel Entry

ทำหน้าที่ คดี Coil เข้ากระบวนการผลิต และรับสัญญาณจากเครื่อง EMG#1 ในการปรับตำแหน่ง Strip ให้อยู่กลาง Line การผลิต ซึ่งหากเกิด Oil Leak ที่ Mandrel จะทำให้ Strip เปื้อนน้ำมัน และถ้าหาก Mandrel เสีย จะทำให้ไม่สามารถควบคุมตำแหน่ง Strip ได้



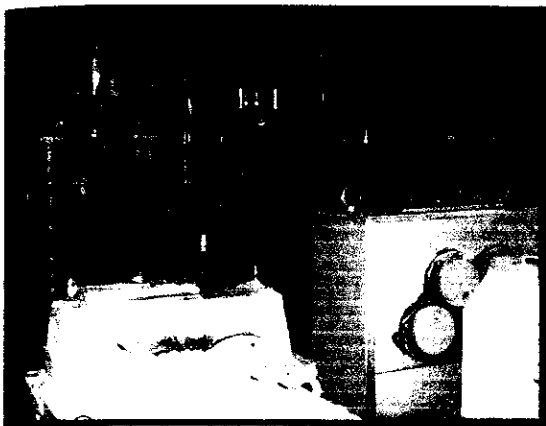
รูปที่ 1.11: Anti Coil Break

ทำหน้าที่กดผิว Strip เพื่อลดความรุนแรงในการเกิด Coil Break หากผิวของ Roll ไม่เรียบจะทำให้เกิด รอยบนแผ่น Strip ได้



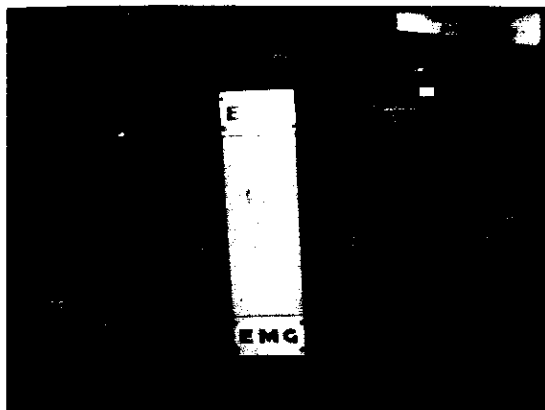
รูปที่ 1.12: Pinch Roll No.1

ทำหน้าที่กดผิว Strip เพื่อให้สามารถเข้ากระบวนการผลิตได้ง่าย ซึ่งหากผิวของ Roll ไม่เรียบจะทำให้เกิด รอยบนผิว Strip ได้เช่นกัน



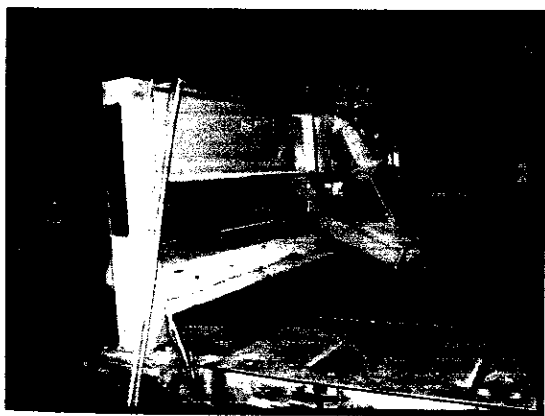
รูปที่ 1.13: Flattener

ทำหน้าที่ปรับสภาพ Shape ของ Strip เพื่อให้ง่ายต่อการเข้ากระบวนการผลิต ซึ่งหากผิวของ Roll ไม่เรียบจะทำให้เกิด รอยบนผิว Strip



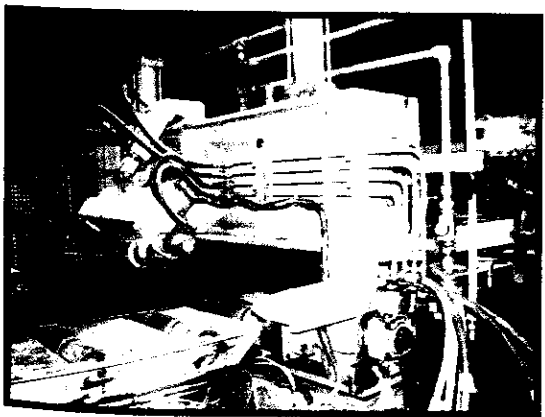
รูปที่ 1.14: EMG#1

ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้ Mandrel ฝั่ง Entry ให้ปรับตำแหน่ง Strip ให้อยู่ตรงกลาง Line การผลิต



รูปที่ 1.15: Encoder Roll Entry

ทำหน้าที่ วัดระยะของ Strip ขณะทำการผลิต

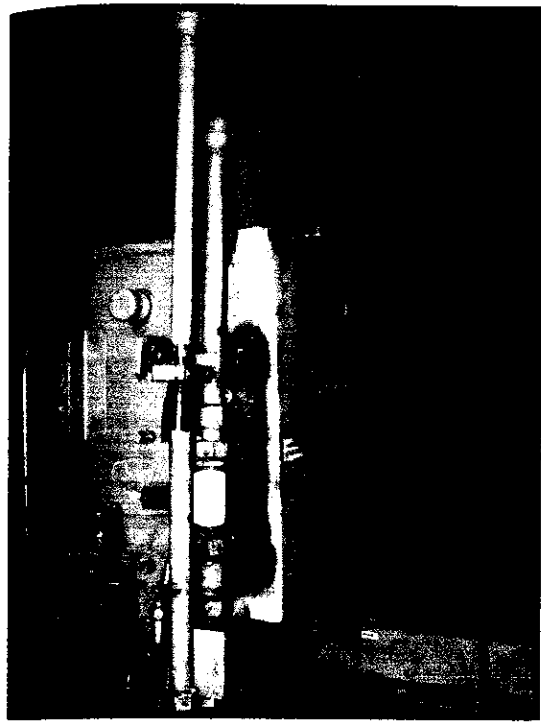


รูปที่ 1.16: Feeder Roll Entry

ทำหน้าที่กีดผิว Strip เพื่อประคอง Strip ให้เข้าเครื่อง Crop Shear ได้ง่ายและรวดเร็ว

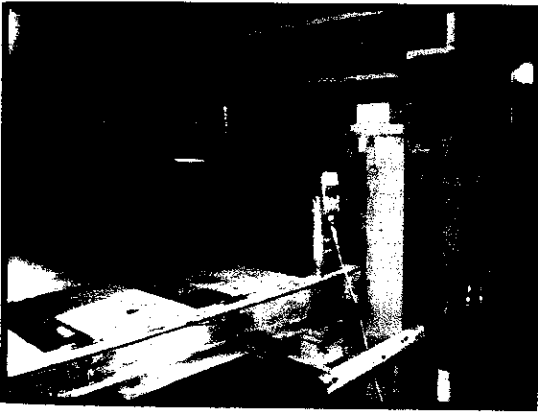
รูปที่ 1.17: Crop Shear Entry

ทำหน้าที่ตัด Strip กรณีที่มีตำหนิช่วงหัว หาง หรือกรณี
อื่นๆ



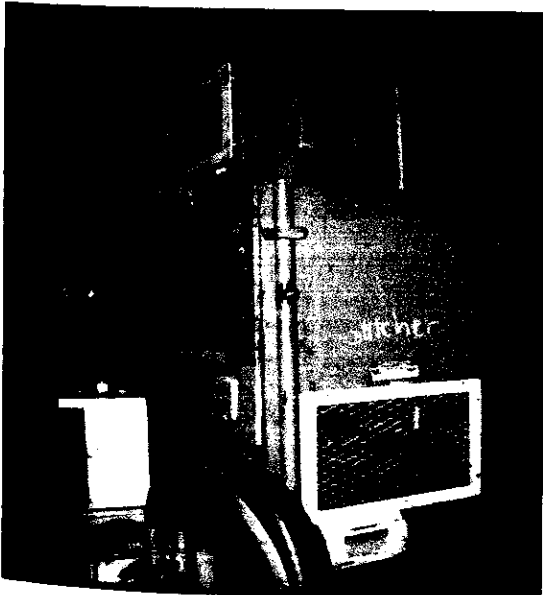
รูปที่ 1.18: Pinch Roll No.2

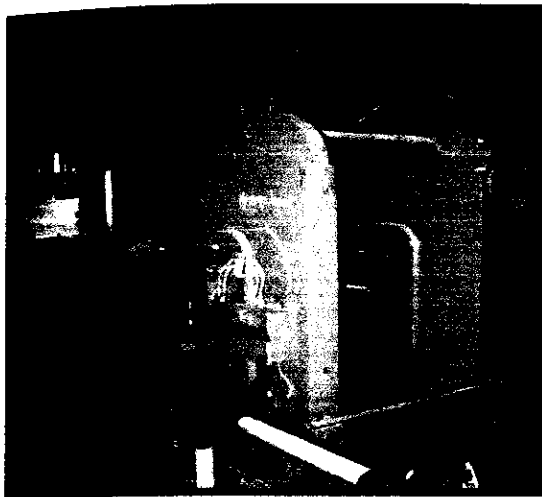
ทำหน้าที่ประกอง Strip เพื่อเข้าเครื่อง Stitcher &
Notcher



รูปที่ 1.19: Stitcher

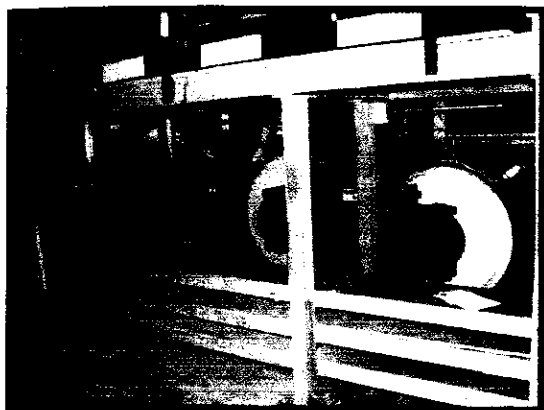
ทำหน้าที่เชื่อม Strip ท้ายลูกก่อนหน้า กับหัวลูกถัดไป ให้
เกิดความต่อเนื่องในการเข้า Tension Leveller Mode ซึ่ง
หากรอย Stitch ไม่สมบูรณ์อาจเกิดการหลุดระหว่าง
กระบวนการผลิต





รูปที่ 1.20: Notcher

ทำหน้าที่ตัดขอบ Strip ตรงรอยเชื่อม กรณีใช้ Tension
Leveller Mode และ Trimming



รูปที่ 1.21: Briddle Roll Entry – Exit

ทำหน้าที่สร้าง Tension ให้กับ Strip ใน Tension
Leveller Mode



รูปที่ 1.22: Leveller Roll

ทำหน้าที่สร้าง %Elongation ให้กับ Strip เพื่อ
ทำลายจุด Yield Point ในเนื้อเหล็ก

Wet Section

รูปที่ 1.23: Pickling Tank

ทำหน้าที่ล้างสนิมออกจากผิว Strip โดยประกอบ 4 ถัง โดยใช้กรด HCl ที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิแตกต่างกันออกไป



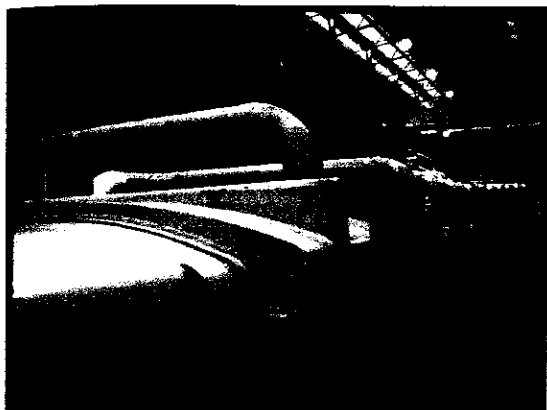
รูปที่ 1.24: Squegee Roll No.6

ทำหน้าที่ปรับตำแหน่ง Strip ให้อยู่ตรงกลางของ Line การผลิต โดยรับสัญญาณจากเครื่อง EMG#2



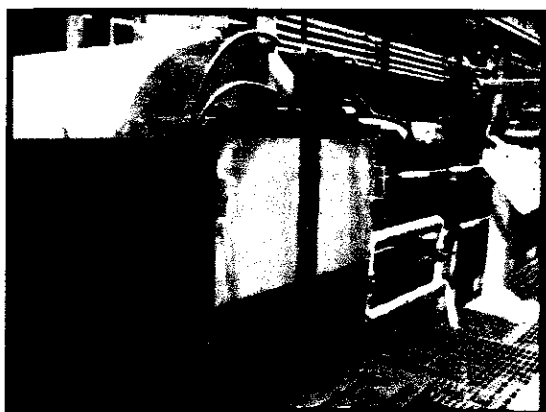
รูปที่ 1.25: Squegee Roll No.2-14

ทำหน้าที่กั้นน้ำกรดใน Pickling Tank และน้ำล้างใน Rinse Tank ไม่ให้ปะปนกัน



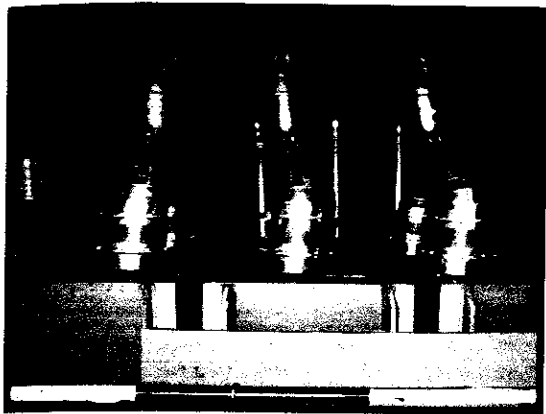
รูปที่ 1.26: Rinse Tank

ทำหน้าที่ล้างน้ำกรดที่เคลือบบนผิว Strip ออก โดยประกอบด้วยถังน้ำ 5 ถัง



รูปที่ 1.27: Squeegee Roll No.13-14

ทำหน้าที่กั้นน้ำล้างใน Rinse Tank No.5 รว้ และ รีดน้ำล้างออกจากผิว Strip ก่อนเข้าเครื่อง Air Dryer

Exit Section

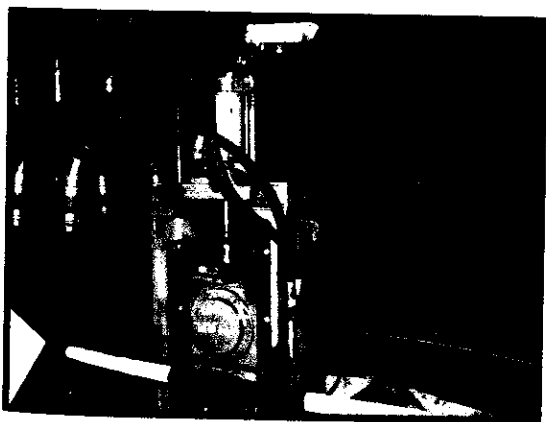
รูปที่ 1.28: Air Dryer

ทำหน้าที่เป่า Strip ให้แห้ง ภายหลังจากล้างผิว หากผิว Strip ไม่แห้ง อาจทำให้เกิดสนิมบนผิวของ Strip ได้



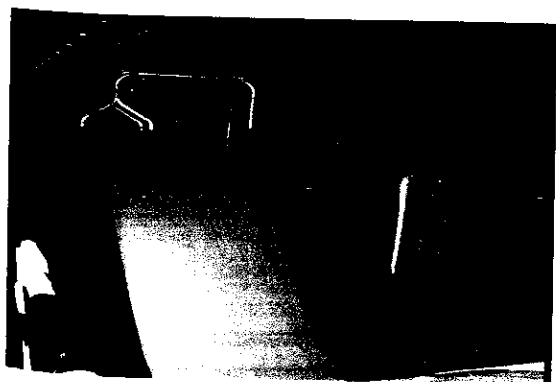
รูปที่ 1.29: EMG#2

ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณให้ Squeegee Roll No.6ปรับตำแหน่ง Strip ให้อยู่ตรงกลาง Line การผลิต



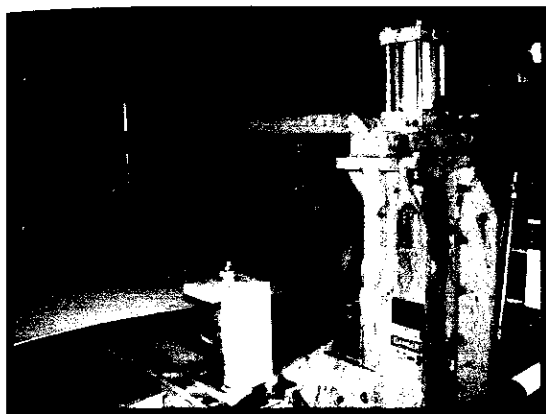
รูปที่ 1.30: Pinch Roll No.3

ทำหน้าที่ทำการกด Strip เพื่อประคองไม่ให้ Strip ตกกลงไปใน Looping Pit และเป็นตัวสร้าง Tension ระหว่าง Line การผลิต



รูปที่ 1.31: Looping Pit

ทำหน้าที่สร้างความยืดหยุ่นใน Line การผลิต



รูปที่ 1.32: Pinch Roll No.4
ทำหน้าที่กด Strip เพื่อปรับตำแหน่ง Strip ให้
ตรงกลางของ Line การผลิต โดยรับสัญญาณจากเครื่อง
EMG#3



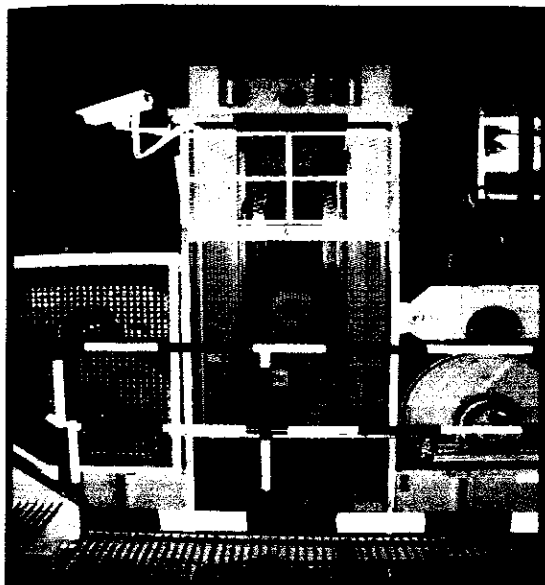
รูปที่ 1.33: EMG#3
ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้ Pinch Roll No.4 ทำ
การปรับตำแหน่ง Strip ให้อยู่ตรงกลางของ Line การ
ผลิต



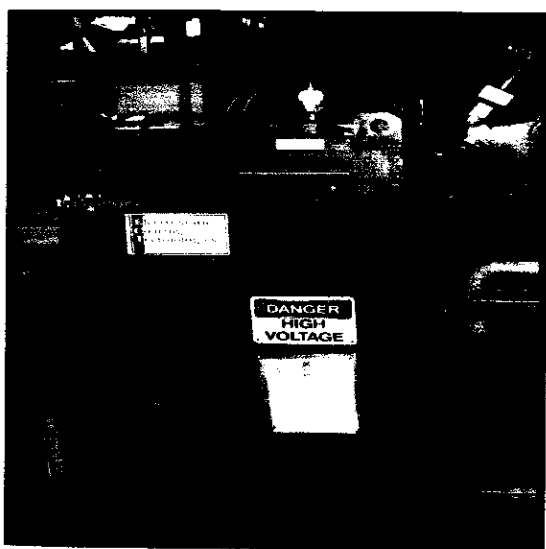
รูปที่ 1.34: Encoder Roll Exit
ทำหน้าที่ Detect ระยะของ Strip ขณะทำการ
ผลิต



รูปที่ 1.35: Trimming
ทำหน้าที่ตัดขอบ Strip ให้ได้ตามความ
ต้องการของลูกค้า



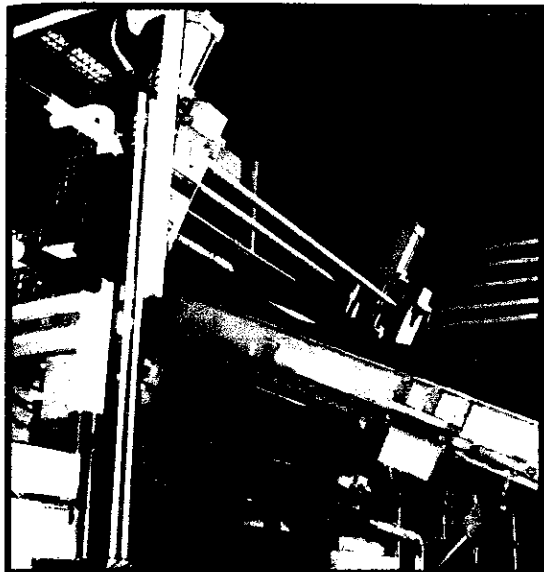
รูปที่ 1.36: Bridle Roll Exit
ทำหน้าที่สร้าง Tension ให้ Strip เพื่อให้มันววน
Coil ที่ Mandrel Exit ให้แน่นขึ้นและให้ Shape Coii สวย
ขึ้น



รูปที่ 1.37: Electronic Coating Technology (ECT)
ทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเคลือบลงบนผิว Strip เพื่อ
ป้องกันสนิม

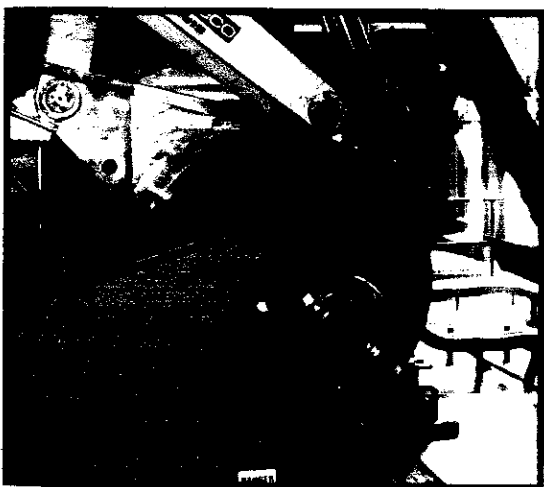


รูปที่ 1.38: Crop Shear Exit
ทำหน้าที่ตัด Strip เพื่อตัด Defect ช่วงหัว -
หาง, ตัดแบ่ง Coil หรือในกรณีอื่นๆ



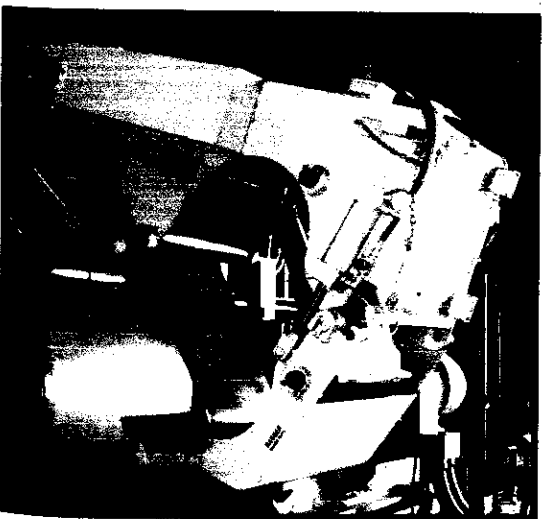
รูปที่ 1.39: Pinch Roll No.5

ทำหน้าที่กด Strip ช่วงหัว - หางเพื่อประกอบในการม้วน Strip



รูปที่ 1.40: Mandrel Exit

ทำหน้าที่ม้วน Strip ให้เป็น Coil พร้อมทั้งรับสัญญาณจาก EMG#4 เพื่อปรับตำแหน่ง Strip ให้อยู่ตรงกลางของ Line การผลิต



รูปที่ 1.41: Belt Wrapper

ทำหน้าที่รัด Strip ม้วนกับ Mandrel Exit เพื่อม้วนให้เป็น Coil

บทที่ 2 งานที่ได้รับมอบหมาย

โดยสามารถแบ่งงานได้เป็น 2 เกท

1. หน้าที่ประจำ
2. งานที่ได้รับมอบหมายจากสถานประกอบการ

1. หน้าที่ประจำ

- ศึกษากระบวนการผลิตที่ PO-LINE
- การแก้ปัญหาต่างๆในกระบวนการผลิต
- เข้าร่วมประชุมวางแผนการแก้ไขปัญหาหรือแนวทางการแก้ไขปัญหาภายในกระบวนการผลิต, การกำหนดเป้าหมายการผลิต

2. งานที่ได้รับมอบหมายจากสถานประกอบการ

- เข้าร่วมแผนการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ล่องหน้า (APQP) ผ่านทางดาวเทียม
- เข้าร่วมประชุมแนวทางการแก้ปัญหา Squeegce Roll กับบริษัทบางกอกโรลเลอร์ จำกัด
- การทำ SPC (Statistic Process Control) เพื่อนำไปควบคุมความเข้มข้นของกรด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาการให้ ISO 16949 แก่โรงงาน
- เข้าร่วมเป็น Audit ISO 16949 จากบริษัท Lloyd's Register Asia รอบแรก
- เข้าอบรม Program MINITAB
- เข้าร่วมเป็น Audit ISO 16949 จากบริษัท Lloyd's Register Asia รอบสอง ซึ่งบริษัทได้ผ่านการตรวจสอบและได้รับรอง ระบบควบคุมคุณภาพเพื่อรองรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ISO 16949
- เข้าร่วมประชุมแก้ปัญหาสนิมเนื่องจากน้ำมันในน้ำมันเครื่องผิวกับบริษัท PALL Ltd.
- เข้าร่วมประชุมการแก้ปัญหา Dark surface กับบริษัท Chemetall (Thailand) Co.,Ltd.

บทที่ 3 เรื่อง ศึกษาวัสดุกัน Scratch

ที่มาของปัญหา

เนื่องจากใน PO-LINE (Pickling & Oiling LINE) มีการนำ Coil เข้ามาอัดกรดและเคลือบน้ำมัน 2 วิธี วิธีแรกคือ Push Pull Mode และ Tension Mode โดยที่ Tension Mode มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหา Wave (Strip เป็นคลื่น) ส่วน Coil (รูปที่ 4-5) ที่นำเข้ามาผลิตใน Process จะมี 2 ความกว้างคือ 4 ฟุต (Figure 3.1) และ 5 ฟุต (รูปที่ 3.2)

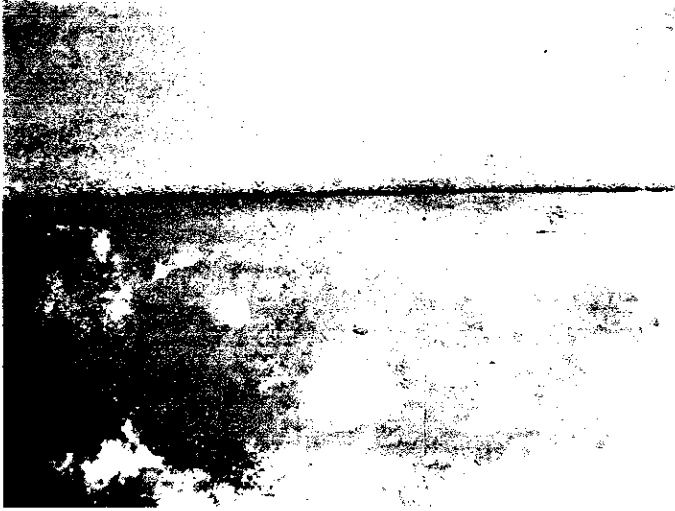
โดยเมื่อนำ Coil เข้าสู่กระบวนการของ strip ที่มีความกว้าง 4 ฟุต ไปทำให้หินแกรนิตในถังกรดไม่เรียบ เมื่อถึงเวลานำ Coil ที่มีความกว้าง 5 ฟุตเข้าผลิต ก็จะทำให้เกิด Scratch ขึ้นที่ความกว้าง 4 ฟุต จึงเรียกปัญหานี้ว่า Scratch 5 ฟุต



รูปที่ 3.1: Strip ที่มีความกว้าง 4 ฟุต



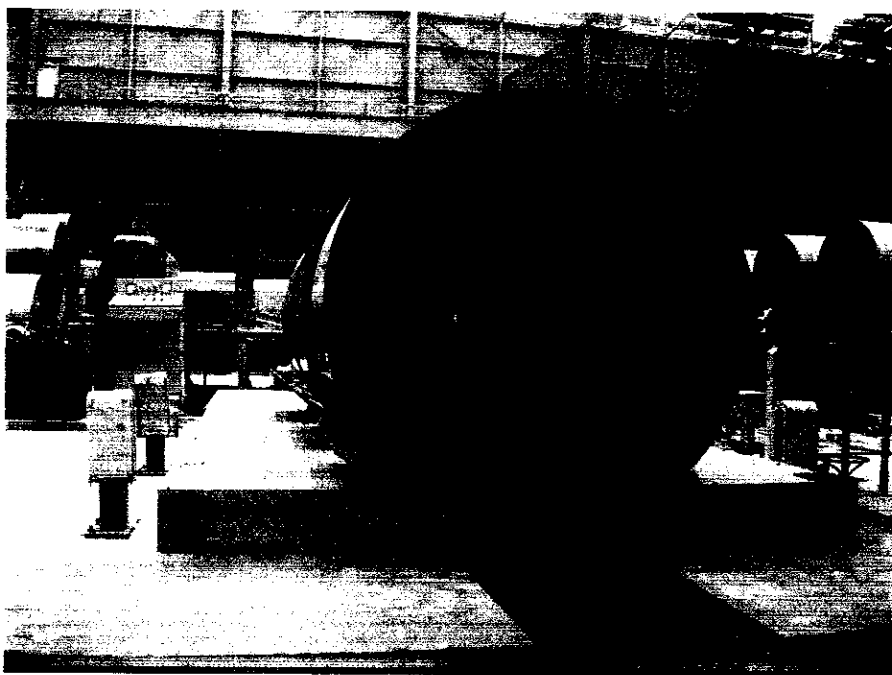
รูปที่ 3.2: Strip ที่ความกว้าง 5 ฟุต โดยจะเห็น Scratch ที่ 4 ฟุต



รูปที่ 3.3.1: หินแกรนิตที่เกิดรอยบาก เนื่องจาก Strip กว้าง 4 ฟุต



รูปที่ 3.3.2: หินแกรนิตที่เกิดรอยบาก เนื่องจาก Strip กว้าง 4 ฟุต



รูปที่ 3.4: รูปของ Coil



รูปที่ 3.5: รูปคนตัดสายรัด Coil

วัตถุประสงค์ของโครงการ

แก้ปัญหา Scratch 5 ฟุต

คุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties)

เป็นสมบัติหนึ่งของวัสดุ หมายถึงค่าความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงขนาด การเกิดรอยขีดขูดเสียหายบริเวณพื้นผิววัสดุ

แล้วถูกอธิบายโดยค่าความต้านทานต่อการขีดขูดของวัสดุกับวัตถุหนึ่ง ใช้งานที่ต้องเสียดสีกัน ถ้าวัสดุใต้อ่อนกว่าก็จะถูกเสียดสีทำให้เกิดการ

คือ คุณสมบัติของวัสดุที่บอกถึงความต้านทานการเสียดสีรูปร่างจากการขีด

ความแข็งคือการต้านทานการเกิดรอยที่ผิวของวัสดุ โดยปกติแล้วชนิดของการทดสอบความแข็งโดยการขีดขูด (Scratching) และการทดสอบความ

Indentation) ซึ่งลักษณะการทดสอบทั้งสองแบบนี้ สามารถจำแนก

หรือปัจจัยที่จะมีผลกระทบต่อวัสดุ นั้น ๆ เมื่อใช้งาน ประสิทธิภาพของการใช้งาน หรือปัจจัยที่จะมีผลกระทบต่อวัสดุ นั้น ๆ เมื่อใช้งาน

(Resistance to Cutting or Drilling) โดยการทดสอบความสามารถใน

(Machinability) เป็นการทดสอบความแข็งโดยพิจารณาจากความยากง่ายของ

ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร แล้วสรุปว่า แต่จะไม่สามารถระบุค่าความแข็งเป็นตัวเลขได้จึงไม่เป็นวิธีการทดสอบ

(Resistance to Abrasion) โดยการทดสอบการเสียดสี (Wear Hardness Test)

ที่พิจารณาจากการสึกหรอของผิววัสดุเมื่อใช้งานที่ต้องเสียดสีกัน ถ้าวัสดุใต้อ่อน

ซึ่งการทดสอบความต้านทานต่อการเสียดสีของเคลือบ (Resistance to Abrasion of Coatings) จะทำการเขย่าวัสดุขี้ดที่มีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลมเล็ก ๆ บนผิวผลิตภัณฑ์

ปริมาณ และขนาดของวัสดุขี้ด แรงเขย่า

หรือพิจารณา

3. วัดความต้านทานต่อการขีดข่วน (Resistance to Scratching) โดยการทดสอบการขีดข่วน (Scratch Hardness Test) เป็นวิธีการทดสอบความแข็งที่ได้รับความนิยมและนิยมใช้ของนักธรณีวิทยา ที่ใช้ในการทดสอบความแข็งของหินแร่ การทดสอบโดยการขีดข่วนเป็นวิธีการทดสอบที่สะดวกรวดเร็ว เพราะอาศัยหลักการที่ว่า วัสดุที่แข็งกว่าจะสามารถขีดข่วนเป็นรอยบนผิววัสดุที่อ่อนกว่าได้ แต่วัสดุที่อ่อนกว่าจะไม่สามารถขีดข่วนเป็นรอยบนผิววัสดุที่แข็งกว่าได้

4. วัดการสะสมพลังงานภายใต้แรงกระแทก (Energy Absorption Under Impact Loads) ทดสอบ โดยใช้ลูกตุ้มกระทบผิวแล้วสะท้อนกลับ (Rebound Hardness Test) เป็นวิธีการทดสอบความแข็งโดยการปล่อยลูกตุ้มให้กระทบผิวขึ้นทดสอบ แล้วพิจารณาค่าความสูงของการสะท้อนกลับของลูกตุ้มภายหลังจากกระทบ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าเป็นวิธีการทดสอบความแข็งที่ใช้แรงเคลื่อนที่กระทบผิววัสดุ ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกวินิจฉัยการทดสอบความแข็งแบบนี้ว่าการทดสอบความแข็งทางพลวัต (Dynamic Hardness Test) และเป็นวิธีที่นิยมใช้ทดสอบความแข็งของโลหะที่อุณหภูมิสูง เพราะลูกตุ้มจะไม่ได้รับผลกระทบของความร้อน เนื่องจากระยะเวลาที่ตกกระทบและสัมผัสผิวขึ้นทดสอบนั้นน้อยมาก จากหลักการทดสอบดังกล่าวนี้เองที่ถูกนำไปสร้างอุปกรณ์-ทดสอบความแข็งที่นิยมใช้ เรียกว่าชอร์ สเคลโรสโคป (Shore Scleroscope) เหตุนี้เองจึงเรียกรูปการทดสอบนี้ว่า การทดสอบความแข็งด้วยชอร์ สเคลโรสโคป

5. วัดความต้านทานต่อการกดให้เกิดรอยบุ๋มถาวร (Resistance to Permanent Indentation) การทดสอบ โดยการกดให้เกิดรอยบุ๋ม (Indentation Hardness Test) เป็นวิธีการทดสอบความแข็งที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรมเพราะเป็นวิธีการทดสอบที่ได้มาตรฐาน ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องแน่นอนและสามารถระบุค่าความแข็งได้ เนื่องจากใช้เครื่องทดสอบที่เป็นมาตรฐานในการทดสอบ

สำหรับหลักการของการทดสอบความแข็งโดยวิธีนี้คือใช้เครื่องทดสอบกดบนผิวขึ้นทดสอบ ทำให้เกิดรอยบุ๋มถาวร (Permanent Indentation) แล้ววัดขนาดความโตหรือความลึกของรอยบุ๋ม ถ้าทดสอบกับวัสดุอ่อน ก็จะทำให้เกิดรอยบุ๋มขนาดใหญ่ หรือลึกมาก แต่ถ้าทดสอบกับวัสดุแข็งก็จะทำให้เกิดรอยบุ๋มขนาดเล็ก หรือลึกน้อย จากหลักการดังกล่าว ได้ถูกนำไปสร้างเครื่องทดสอบมาตรฐานและวิธีการทดสอบที่เป็นมาตรฐานดังนี้

5.1 การทดสอบความแข็งร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

5.2 การทดสอบความแข็งบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)

5.3 การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

5.4 การทดสอบความแข็งนีออป (Knoop Hardness Test)

5.5 ทดสอบความแข็งด้วยชอร์ (Shore)

5.1 การทดสอบความแข็งร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

การทดสอบความแข็งร็อกเวลล์ประกอบด้วยการทดสอบการเป็นรอยของวัสดุกับเพชรรูปกรวยหรือ

หรือบอลเหล็กที่ทำให้แข็ง หัวกดจะถูกแรงกดเข้าไปในผิววัสดุ โดยใช้แรงต่อนเริ่มตั้นน้อยกด (F_0) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ปกติจะใช้แรง 10 kgf และ เมื่อถึงสมดุลที่เครื่องกดแสดงแล้วทำการย้ายตำแหน่งตัวกด จะเห็นว่าค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนความลึกของหัวกด หัวกดจะวางไว้ในตำแหน่งตามหลักสถิติ ขณะที่แรง F_0 จะถูกนำไปประยุกต์โดยการนำไปเพิ่มแรงที่ตัวกดเลยทำให้มีความลึกเพิ่มขึ้น (Figure 6B) และเมื่อถึงสมดุลใหม่ นำเอาแรงที่เพิ่มไปออกแต่ยังคงรักษา F_0 ไว้

ทำการย้ายแรง ที่เพิ่มขึ้น ส่วนแรง F_0 จะถูกนำไปใช้อีก ดังนั้นจะช่วยลดความลึก (Figure 6C) การเพิ่มขึ้นของความลึกจะถูกเพิ่มขึ้นอย่างถาวร ผลจากการนำไปใช้ประโยชน์โดยการดึงเอาแรงส่วนใหญ่ที่เพิ่มขึ้น (F_1) ออกแล้วนำไปคำนวณ ค่าความแข็งร็อกเวลล์ (Rockwell hardness number)

$$HR = E - e$$

F_0 = preliminary minor load in kgf

F_1 = additional major load in kgf

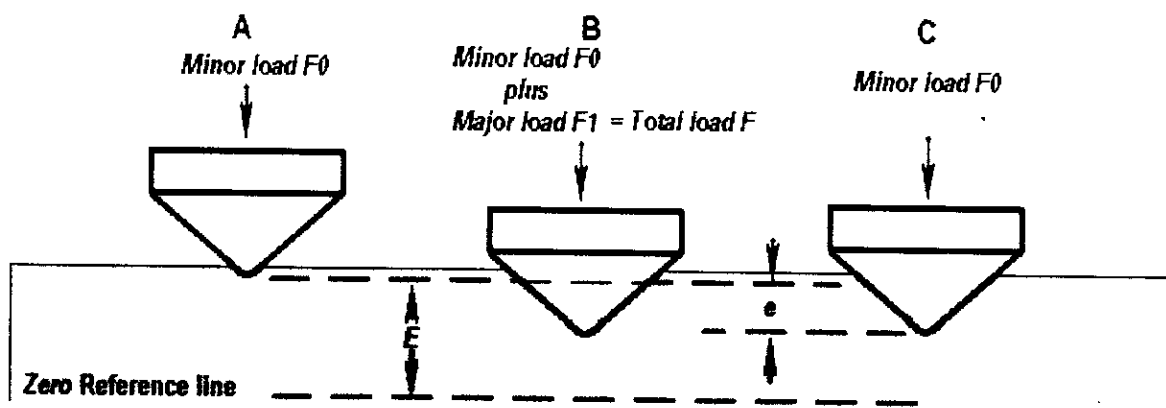
F = total load in kgf

e = permanent increase in depth of penetration due to major load F_1 measured in units of 0.002 mm

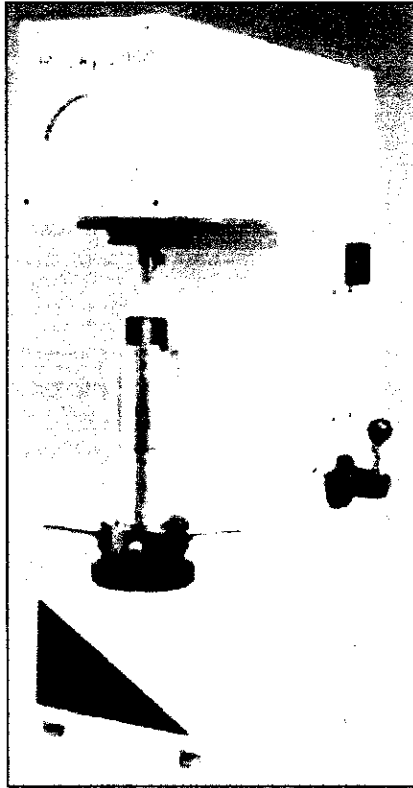
E = a constant depending on form of indenter: 100 units for diamond indenter, 130 units for steel ball indenter

HR = Rockwell hardness number

D = diameter of steel ball



รูปที่ 3.6: Rockwell Principle



រូបភាព 3.6.1: Rockwell test

ตารางที่ 3.1: Rockwell Hardness Scales

Scale	Indenter	Minor Load	Major Load	Total Load	Value of <i>E</i>
		<i>F₀</i> kgf	<i>F₁</i> kgf	<i>F</i> kgf	
A	Diamond cone	10	50	60	100
B	1/16" steel ball	10	90	100	130
C	Diamond cone	10	140	150	100
D	Diamond cone	10	90	100	100
E	1/8" steel ball	10	90	100	130
F	1/16" steel ball	10	50	60	130
G	1/16" steel ball	10	140	150	130
H	1/8" steel ball	10	50	60	130
K	1/8" steel ball	10	140	150	130
L	1/4" steel ball	10	50	60	130
M	1/4" steel ball	10	90	100	130
P	1/4" steel ball	10	140	150	130
R	1/2" steel ball	10	50	60	130
S	1/2" steel ball	10	90	100	130
V	1/2" steel ball	10	140	150	130

Typical Application of Rockwell Hardness Scales

HRA	Cemented carbides, thin steel and shallow case hardened steel
HRB	Copper alloys, soft steels, aluminium alloys, malleable irons, etc.
HRC	Steel, hard cast irons, case hardened steel and other materials harder than 100 HRB
HRD	Thin steel and medium case hardened steel and pearlitic malleable iron
HRE	Cast iron, aluminium and magnesium alloys, bearing metals
HRF	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals
HRG	Phosphor bronze, beryllium copper, malleable irons
HRH	Aluminium, zinc, lead
HRK	}
HRL	}
HRM	} Soft bearing metals, plastics and other very soft materials
HRP	}
HRR	}
HRS	}
HRV	}

5.1.1 การทดสอบความแข็งแบบผิวตื้นรีคเวลล์ (Rockwell Superficial Hardness Test)

การทดสอบความแข็งแบบผิวตื้นรีคเวลล์ ประกอบด้วยการทดสอบการเป็นรอยของวัสดุกับเพชรรูปกรวย (N scale) หรือบอลเหล็กที่ทำให้แข็ง หัวกดจะถูกแรงกดเข้าไปในผิววัสดุ โดยใช้แรงตอเริ่มต้นน้อยกด F_0 (รูปที่ 3.7A) โดยใช้แรงกดเท่ากับ 3 kgf เมื่อถึงที่สมดุลเครื่องกดแสดงค่าที่สมดุล แล้วจึงย้ายตำแหน่งของตัวกด จะเห็นว่าค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนความลึกของหัวกด หัวกดจะวางไว้ในตำแหน่งตามหลักสถิติ ขณะที่ค่าแรง F_0 ถูกนำไปใช้ในการเพิ่มแรงกด และถูกนำไปใช้ในการเพิ่มการทะลุ (รูปที่ 3.7B) เมื่อถึงสมดุลค่าใหม่ที่ทำให้การเพิ่มแรงกด F_1 จะถูกย้ายแรงออก เหลือไว้แต่ F_0 ค่า F_0 จะถูกนำไปใช้ซ้ำอีก ดังนั้นจึงสามารถลดความลึกของการเจาะได้ (รูปที่ 3.7C) ความลึกที่เกิดจากการเจาะจะอยู่อย่างถาวร (e) ผลจากการใช้ประโยชน์ โดยการดึงแรงที่เพิ่มส่วนใหญ่ (F_1) ออกถูกนำไปใช้คำนวณ ค่าความแข็งแบบผิวตื้นรีคเวลล์

$$HR = E - e$$

F_0 = preliminary minor load in kgf

F_1 = additional major load in kgf

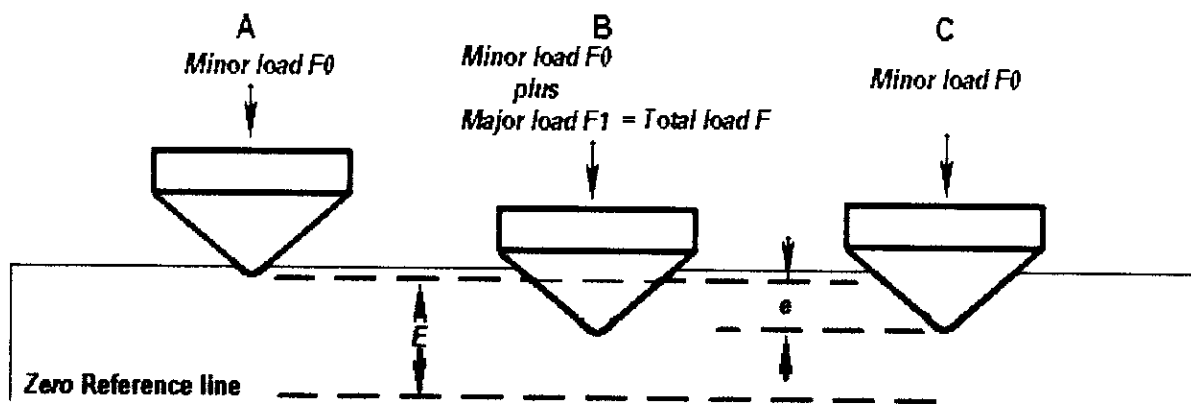
F = total load in kgf

e = permanent increase in depth of penetration due to major load F_1 , measured in units of 0.001 mm

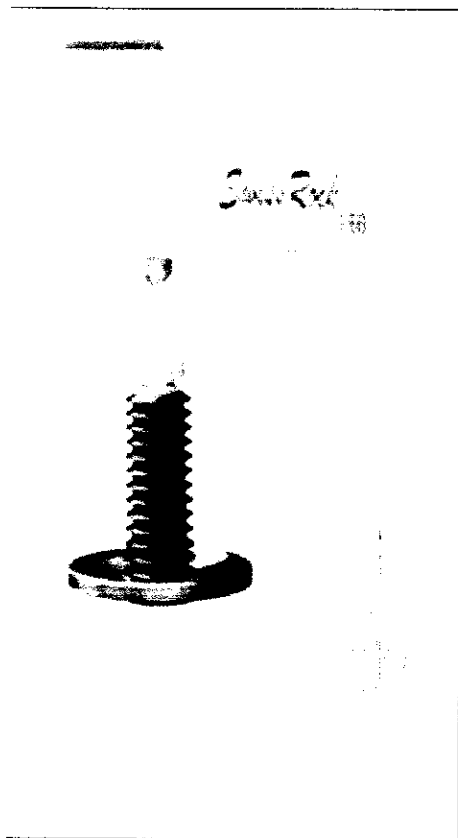
E = a constant of 100 units for diamond and ball indenters

HR = Rockwell hardness number

D = diameter of steel ball



รูปที่ 3.7: Rockwell Superficial Principle



รูปที่ 3.7.1: digital display for Rockwell A, B, C and superficial hardness testing.

ตารางที่ 3.2: Rockwell Superficial Hardness Scales

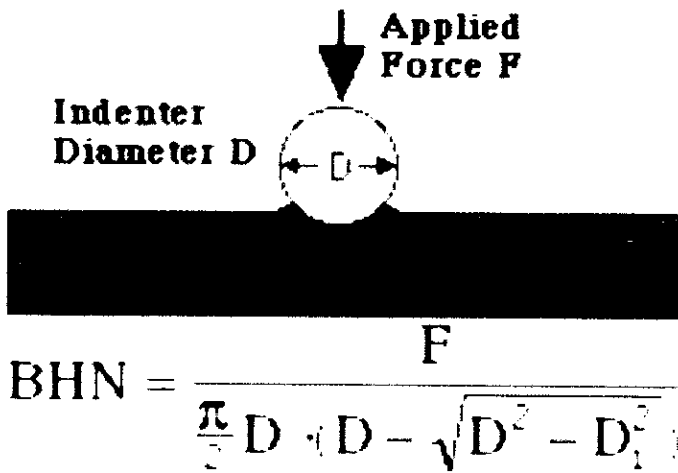
Scale	Indenter Type	Minor Load	Major Load	Total Load	Value of E
		F_0 kgf	F_1 kgf	F kgf	
HR 15 N	N Diamond cone	3	12	15	100
HR 30 N	N Diamond cone	3	27	30	100
HR 45 N	N Diamond cone	3	42	45	100
HR 15 T	1/16" steel ball	3	12	15	100
HR 30 T	1/16" steel ball	3	27	30	100
HR 45 T	1/16" steel ball	3	42	45	100
HR 15 W	1/8" steel ball	3	12	15	100
HR 30 W	1/8" steel ball	3	27	30	100
HR 45 W	1/8" steel ball	3	42	45	100
HR 15 X	1/4" steel ball	3	12	15	100
HR 30 X	1/4" steel ball	3	27	30	100
HR 45 X	1/4" steel ball	3	42	45	100
HR 15 Y	1/2" steel ball	3	12	15	100
HR 30 Y	1/2" steel ball	3	27	30	100
HR 45 Y	1/2" steel ball	3	42	45	100

5.2 การทดสอบความแข็งบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)

การทดสอบความแข็งบริเนลล์โดยใช้การกดเป็นรอยบนวัสดุโดยใช้หัวกดที่เป็นเหล็กแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 mm หรือ บอลคาร์ไบด์ที่น้ำหนัก 3,000 kg กด

สำหรับวัสดุที่อ่อนจะใช้น้ำหนักของบอลคาร์ไบด์ลดลงเป็น 500 หรือ 1,500 kg หลีกเลี่ยงการใช้แรงกดมากเกินไป ปกติจะกดโดยใช้เวลาประมาณ 10 ถึง 15 วินาที ในกรณีที่เป็เหล็กหรือเหล็กกล้า

ถ้าเป็นโลหะอื่นๆจะใช้เวลาอย่างน้อย 30 วินาที จาก Figure 3 จะเป็นการทดสอบใช้หัวกด กดบนชิ้นงานทดสอบ ซึ่งใช้กำลังน้อยโดยต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วย ค่าความแข็งบริเนลล์ถูกคำนวณโดยใช้แรงส่วนกับพื้นที่ผิวของหัวกด



รูปที่ 3.8: Brinell Hardness Test

Where

BHN = the Brinell hardness number

F = the imposed load in kg

D = the diameter of the spherical indenter in mm

D_1 = diameter of the resulting indenter impression in mm

BHN test ปกติจะบรรลุผลไปโดยใช้นอกเหนือจากนี้ ก็จะใช้แผ่นที่มีตัวห่อหุ้ม โดยที่ชนิดของแผ่นทดสอบแต่ละชนิดจะมีผลที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่ไม่มีกำหนดขั้นต่ำหรือคุณสมบัติของแผ่นที่มีตัวห่อหุ้ม (ทั้งคู่จะเป็นแผ่นชนิดเดียวกัน) แต่เป็นเพราะการทดสอบนี้ด้วยช่วยแก้ปัญหาการกดลง ไปด้วยมากของหัวกด ค่าความผิดพลาดจะน้อยและจะนำไปสู่ความถูกต้องของค่า BHN

ด้วยเหตุที่ BHN ถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงมีค่าอยู่ในช่วง 210 ถึง 245 ก่อนข้างเป็นค่าเดียว

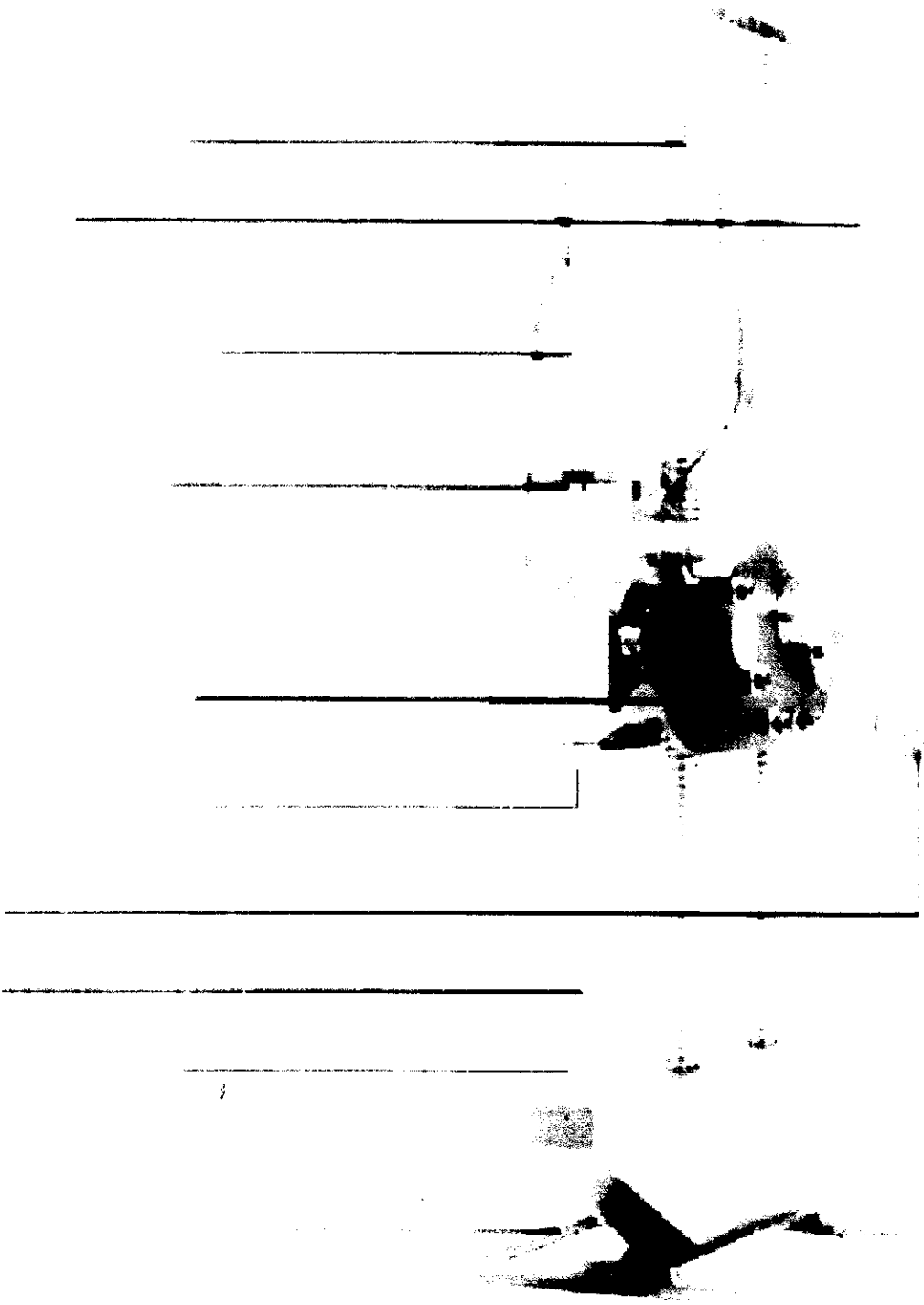
BHN ของพื้นผิวที่ถูกห่อหุ้มให้แข็งขึ้นโดยใช้ a back slash \? แยกค่าพื้นผิวที่แข็งขึ้น จากค่าพื้นผิวด้านหลัง ตัวอย่างเช่น BHN ของ 555\353-382 เป็นตัวบอกว่า พื้นผิวมีความแข็งเท่ากับ 555 และ ความแข็งของด้านหลัง อยู่ในช่วง 353 ถึง 382

การทดสอบความแข็งบริเนลล์ จะถูกอธิบายเกี่ยวกับการเรียก HB อะไร 10/3000 WC อะไร และถูกทดสอบในสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ เยอรมัน ชนิดอื่นๆของการทดสอบความแข็งถูกทดสอบโดยใช้ความแตกต่างของวัสดุ สำหรับหัวแบบบอลทดสอบ หรือ ความแตกต่างของน้ำหนักที่กด

วัสดุที่อ่อนจะเสีรูปร่างที่ BHN สูง มีคำถามว่าทำไม ทั้งสแตน คาร์ไบด์ (แข็งมาก) ถูกใช้เป็นตัวหุ้มแผ่นทดสอบ ถึงกระนั้นอันเนื่องมาจาก BHN มีค่าประมาณ 650 บอลเหล็กจะเรียบแสดงว่าค่าความแข็งที่แท้จริงมีค่ามากกว่านั้น ขณะที่ ใช้บอลที่ BHN ประมาณ 739 ยังไม่สามารถใช้ได้

เมื่อมองอย่างกว้างๆ BHN จะถูกอ้างอิงต่างกัน ดังนั้นอาจจะใช้การตัวทดสอบความแข็ง พอลดี (Poldi Hardness Tester) ถูกใช้แทน Brinell Hardness Test โดยที่ Poldi Hardness Tester จะมีความแม่นยำน้อยกว่า Brinell Hardness Test แต่สามารถใช้ได้กับพื้นที่กว้างๆ Poldi Hardness Teste จะมีประโยชน์ต่อการทดสอบชิ้นงาน เนื่องจากสามารถถือหัวได้ ดังนั้นจึงสามารถวัดในพื้นที่กว้างๆ

ASTM E-10 คือมาตรฐานการทดสอบสำหรับการหาความแข็ง Brinell hardness ทางโลหะ แรงที่ถูกใช้ในการทดสอบคือ 3,000 1,500 หรือ 500 kgf ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกดอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 6.0 mm. แรงที่ถูกกดอย่างมั่นคงโดยไม่มีการกระตุก การทดสอบแบบเต็มๆจะถูกใช้ประมาณ 10 ถึง 15 วินาที และมี 2 เส้นผ่าศูนย์กลางที่เป็นที่นิยมโดยใช้การวัดมุม และใช้เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยในการคำนวณ Brinell hardness number (BHN) ซึ่งจะมีตารางเปลี่ยนค่าให้ได้มาตรฐาน



รูปที่ 3.8.1: Brinell Hardness Tester

5.3 การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส เป็นวิธีมาตรฐานในการวัดความแข็งของโลหะ, โดยเฉพาะอย่างยิ่งผิวที่มีความแข็งมากๆ ผิวจะถูกใช้เป็นหัวข้อในการเลือกแรงกดสำหรับที่มาตรฐานแล ใช้เวลานานเท่าใดโดยใช้หัวกดเพชรรูปพีระมิด เส้นทะแยงมุมจะมีผลต่อรอยกดภายใต้การใช้ กล้องจุลทรรศน์ และค่าความแข็งของวิกเกอร์สโดยอ่านค่าจาก Table 10 ความแข็งของวิกเกอร์เป็นการวัดความแข็งของวัสดุโดยอาศัยการคำนวณจากขนาดของรอยกดของชิ้นงาน โดยใช้ เพชรรูปพีระมิดเป็นตัวกด โดยมีการคิดได้ในปี 1920 โดยวิศวกรชื่อ วิกเกอร์ส ในสหราชอาณาจักร ทดสอบโดยใช้เพชรรูปพีระมิดเป็นตัวทดสอบความแข็ง ดังที่รู้กันว่า อนุญาตให้ใช้สเกลแบบต่อเนื่องกับการวัดเปรียบเทียบกับตัวเลขพบว่ามีความถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้พบช่วงความแข็งของเหล็กกล้า

ตัวหัวกดถูกใช้ใน Vickers test คือใช้หัวกดตาม Figure 4 โดยจุดสูงสุดทำมุม 136° ตามภาพ โดยที่เพชรจะถูกกดลงไปที่ผิวของวัสดุโดยใช้แรงประมาณ 120 kgf (ขนาดของเบอร์ที่กดไม่เกิน 0.5mm.) ถูกได้ตรงแล้วกับองค์การช่วยเหลือการพัฒนาต่างประเทศ ถูกวัดโดยกล้องจุลทรรศน์ Vickers number (HV) ถูกคำนวณตามสูตร

$$HV = 1.854(F/D^2)$$

โดยที่

F = applied load (measured in kilograms-force)

D2 = the area of the indentation (mm^2)

applied load ถูกเจาะจงเมื่อ HV ถูกอ้างถึง

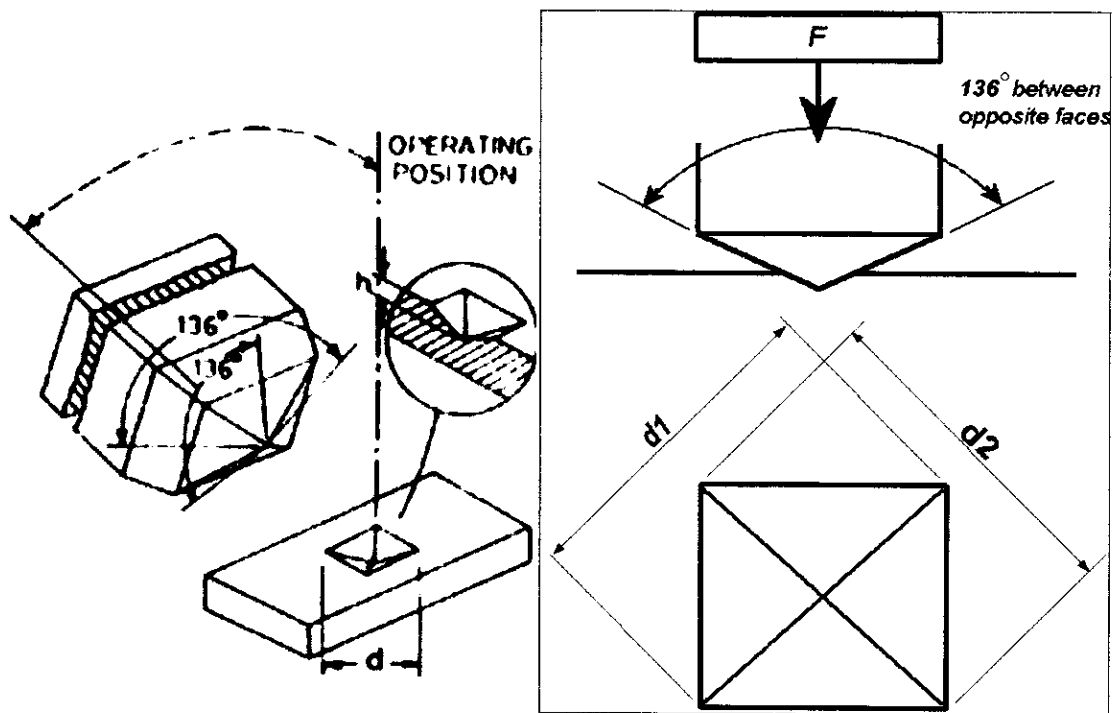
การทดสอบแบบวิกเกอร์ส เชื่อได้สำหรับการวัดความแข็ง ของโลหะ และวัสดุประเภทเซรามิก การทดสอบแบบ วิกเกอร์ส มีความคล้ายคลึงกับการทดสอบบริเนลล์ แต่การใช้หัวกดแบบหัวบอลเหล็กกล้า แบบบริเนลล์ และมีการคำนวณโดยใช้พื้นที่สร้างลูกของหัวกด เครื่องวัดแบบวิกเกอร์ส

ถูกใช้ในหัวกดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเจาะแต่ถูกด้าน โดยเหลี่ยมของเพชร ซึ่งหัวกดแบบวิกเกอร์สมี 136 รัศมี โดยฐานจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและหัวเป็นกรวย วัสดุที่เป็นหัวกดจำพวกเพชรมีประโยชน์มากกว่าหัวกดทั่วไป เนื่องจากไม่มีการเสีรูปตามเวลาที่ถูกใช้

การกดเป็นรอยของวิกเกอร์สจะง่ายในการอ่าน และจะคล้ายการทดสอบบริเนลล์ ส่วนค่าของวิกเกอร์สจะหาได้ โดยใช้น้ำหนักหารด้วยพื้นที่ผิวของรอยกด ($H = P/A$) โดยที่ค่าของน้ำหนักจะเปลี่ยนตั้งแต่ 1 ถึง 120 kg การทดสอบของวิกเกอร์สตัวอย่างเช่นที่บนทั้งตีเหล็กมีเกรียวเป็นฐาน ทั้งตีเหล็กจะถูกหมุนทำให้หมุนขึ้น โดยเกรียวจนกระทั่งถึงตำแหน่งหัวกด เริ่มโยกคั้น โยกทำให้หัวกดตกลงอย่างช้าๆ และน้ำหนักจะถูกปล่อยลงและทั้งตีเหล็กกับชิ้นงานตัวอย่างที่อยู่ด้านล่างจะถูกบังคับให้อยู่กับที่และก็จะถูกกดโดยอัตราโนมัล

หลายๆน้ำหนักที่ทำการกดมีค่าเท่ากับค่าของความแข็งบนวัสดุชนิดเดียวกันซึ่งไม่มีเกณฑ์ในการวัดในการเปลี่ยนสเกลของความแข็งอื่นๆกับเครื่องวัด การแกว่งตัวของค่าการวัดจะอยู่ในช่วง บวก ลบ 1/1000 mm. เครื่องวัดจะวัดค่าตามขวางตามเส้นทะแยงมุม โดยวัดพื้นที่ ซึ่งพื้นที่จะเป็นค่าเฉลี่ย

ความถูกต้องจึงถูกตั้งชื่อวิกเกอร์สคือค่าตัวเลขตาม "HV" (Hardness Vickers) ประโยชน์ของการทดสอบความแข็งวิกเกอร์สสิ้นสุดจะอ่านค่าได้อย่างแม่นยำโดยใช้หัวกดทุกชนิดกับโลหะชนิดเดียวและดูแลรักษาพื้นผิวและสามารถทำให้เหมาะสมว่ามีความเที่ยงตรงของการทดสอบความอ่อนหรือแข็งของวัสดุภายใต้การเปลี่ยนน้ำหนักไปเรื่อยๆ เครื่องวัดวิกเกอร์สจะมีค่าแพงกว่าเครื่องวัดแบบ บริเนลล์และเครื่องวัดแบบร็อคเวลล์



รูปที่ 3.9: Vickers Hardness Tester

5.4 การทดสอบความแข็งน็อพ (Knoop Hardness Test)

ความสัมพันธ์ ของ micro hardness กับวัสดุโดยถูกหาโดยใช้ การกดเป็นรอยแบบน็อพ ในการทดสอบ นี้จะเป็นรูปทรงพีระมิดเป็นหัวเพชรโดยที่ปลายแหลมทำมุม 130° และ $170^{\circ}-30^{\circ}$ (ถูกเรียกว่าหัวกดน็อพ) โดยกด ติดกับผิวของวัสดุโดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางหนึ่งเส้นยาวเป็น 7 เท่าของความยาวเส้นทะแยงมุมอื่นๆ ความแข็ง ของวัสดุหาโดยใช้ความลึกของตัวกดน็อพ

วิธีการทดสอบนี้ประดิษฐ์ขึ้นในปี 1939 โดย F. Knoop และผู้ร่วมงาน ที่สหรัฐอเมริกาโดยใช้รอยกดด้านล่าง โดยไม่สนใจสิ่งอื่นที่เกิดขึ้น ซึ่งการทดสอบแบบวิกเกอร์สถูกออกแบบมาในการวัดของโลหะ ส่วนการทดสอบ แบบน็อพจะถูกนำไปใช้ในการทดสอบความแข็งของวัสดุที่ประอย่างเช่นแก้วและเซรามิก

หัวกดเพชรถูกใช้ในการทดสอบแบบน็อพโดยใช้พีระมิดซึ่งมีการทำมุมดัง Figure 5 โดยใช้แรงในการกดน้อยกว่า 1 kgf ตัวหัวกดมีสี่ด้านถูกกดขนาดประมาณ 0.01 ถึง 0.1 mm . ความยาวของการกดประมาณ 7 เท่าของความกว้าง และ $1/30$ ของความยาว ให้ใช้การวัดขนาด พื้นที่ของการกดสามารถคำนวณหลังจากการวัด สุกท้ายการวัดความ แข็ง (HK) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$HK = 14.229(F/D^2),$$

โดยที่

F = applied load (measured in kilograms-force)

D^2 = area of the indentation (measured in square millimetres)

ค่าความแข็งของน็อพจะถูกอ้างถึงอยู่บ่อยๆ โดยถูกนำมาใช้เฉพาะค่าของแรง

ASTM D-1474 การเตรียมการทดสอบมาตรฐานสำหรับการกดวัดความแข็งโดยใช้ตัวเคลือบ การทดสอบความ แข็งแบบน็อพ ที่ขึ้นงานทดสอบที่สมดุลภายใต้การทดสอบอย่างน้อย 24 ชั่วโมง โดยที่ขึ้นงานจะถูกยึดไม่ให้ เคลื่อนที่ ดังนั้นการวัดความแข็งของผิวจะวัดตามรอยกด เครื่องกดจะถูกตั้งค่าไว้ที่ 25 g load ขณะที่ตัวกดจะถูก สัมผัสกับขึ้นงานทดสอบ 0.5 วินาที ขนาดของความยาวเส้นทะแยงมุมของรอยกด โดยดูจากไมโครมิเตอร์ ขึ้นตอนจะถูกทำซ้ำอย่างน้อย 5 รอยกด โดยดูอย่างกว้างๆ ค่าความแข็งของน็อพคำนวณโดย

$$KHN = 0.0025 / (l^2 C_p)$$

โดยที่

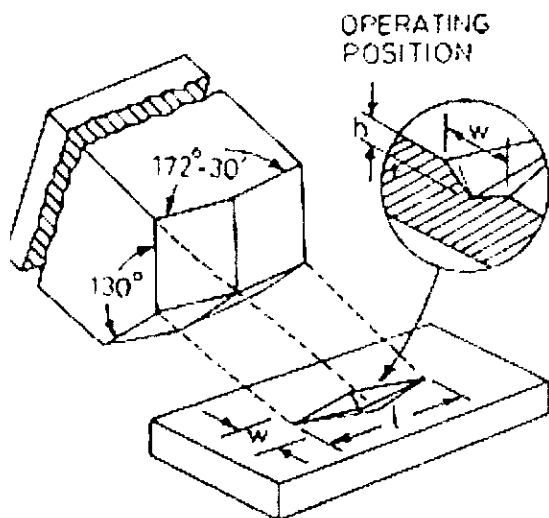
0.0025 คือ ค่าแรงกดของหัวกด

l คือความยาวของเส้นทะแยงมุม mm. ของรอยกด

C_p ค่าคงที่ของรอยกดมีค่าเป็น 7.028×10^{-2}

ASTM D-785 คือค่ามาตรฐานของการทดสอบความแข็งรีอเคเวลล์ ของพลาสติกและฉนวน

Minor load 10 kg ซึ่งถูกสร้างไปเป็นเครื่องวัด ตอนเริ่มต้นถูกใช้กับไม่มีการช็อก ภายใน 10 วินาที หลังจาก การใช้ minor load และหลังจากนั้น ตั้งค่าตำแหน่ง minor load บนชิ้นทดสอบ ย้าย minor load หลังจาก 15 วินาที หลังจากการใช้ การอ่านค่าความแข็งร็อคเวลล์จะอ่านได้ที่เครื่อง การเลือกสเกลวัดความแข็งของร็อคเวลล์ถูกทำเป็นตารางคำนวณสเกลโดยแสดงดัง Figure 12



รูปที่ 3.9: Knoop Hardness Test

5.5 ทดสอบความแข็งด้วยชอร์ (Shore)

การทดสอบความแข็งด้วยชอร์ในเทอมของความยืดหยุ่นของวัสดุ เพชรจะถูกกดลงไปตามระดับของ หลอดแก้วโดยความสูงจะถูกลดลงของชิ้นงานที่ถูกทดสอบ และค่าความแข็งจะขึ้นกับค่าความสูงของการ สะท้อนกลับ

ความแข็งของชอร์จะวัดตามความต้านทานของวัสดุของการกดเป็นรอย โดยมี 3 ค่าของหัวกด ค่าความสูงมาก ความต้านทานจะมาก

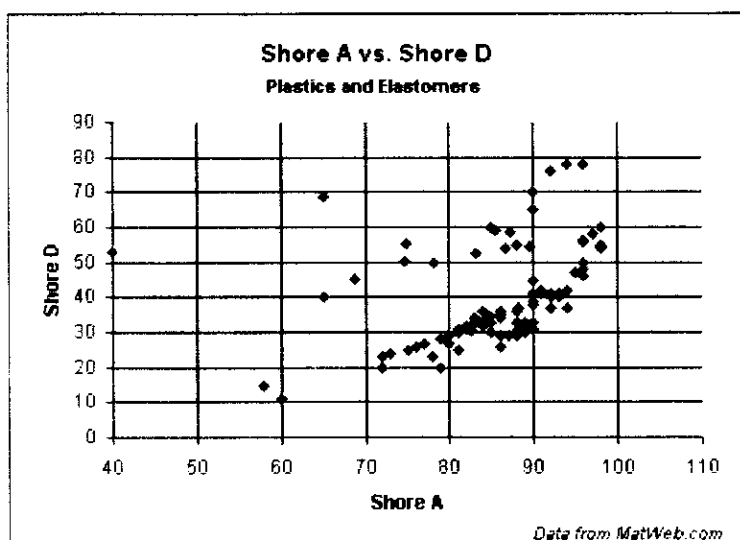
การทดสอบค่าความแข็งของ พลาสติกส่วนใหญ่จะถูกวัด โดยชอร์ (Durometer) เป็นตัวทดสอบ หรือ การ ทดสอบแบบร็อคเวลล์ ซึ่งวิธีทั้ง 2 วิธีจะมีการวัดค่าความต้านทานของพลาสติกโดยดูจากรอยกด สเกลของทั้งคู่ เป็นการ ได้จากการทดสอบค่าความแข็งซึ่งอาจจะ ไม่สัมพันธ์กับคุณสมบัติของวัสดุหรือคุณสมบัติพื้นฐาน ความ แข็งของชอร์ถูกใช้ สเกล A และ D ซึ่งเป็นที่นิยมมากกว่าสำหรับพวกยางหรือสารจำพวกยาง โดยทั่วไปถูกใช้กับ พลาสติกที่อ่อนหรือพวกโพลีเอทิลีน

ชอร์สเกล A จะถูกใช้กับยางที่อ่อน ขณะที่ ชอร์สเกล D ถูกใช้กับวัสดุที่แข็ง ชอร์สเกล A ค่าความแข็งจะมี ความสัมพันธ์กับค่าความแข็งของพวกยางกับพวก elastic material หรือวัสดุที่เป็นพลาสติกอ่อนเรียกเครื่องวัด

ชนิดนี้ว่า Shore A durometer ถ้าหัววัดเจาะทะลุชิ้นงานตัวอย่าง การอ่านค่าถูกอธิบายโดยค่า 0 และถ้าไม่มีรอยจะอ่านค่าได้ 100 ค่าที่อ่านได้จะไม่มีหน่วย

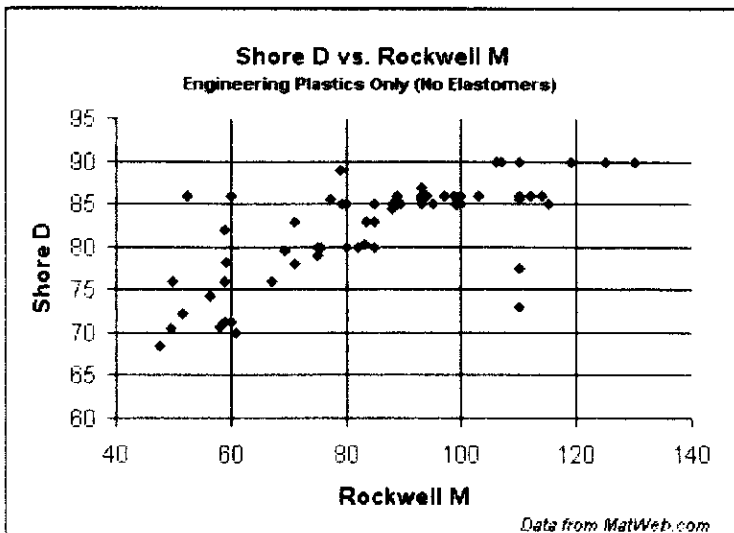
Shore hardness ถูกวัดกับเครื่อง คูโรมิเตอร์ ดังนั้นทำให้เรียกว่า 'Durometer hardness' ค่าความแข็งจะถูกหาโดยครอยกกด หัวกดของคูโรมิเตอร์ที่ชิ้นงานตัวอย่าง เพราะว่าพวกยางมีความยืดหยุ่นสูง ความแข็งจะถูกอ่าน โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกินเวลากับการกดตามเวลา โดยดูที่ผลคู่ไปกับค่าความแข็ง ASTM Test คือการทดสอบ ASTM D2240 ขณะที่เมื่อเทียบกับการทดสอบวิธี ISO 869 ผลถูกอธิบายจากการทดสอบค่าความต้านทานของการกดบนวัสดุพวกพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตาม Shore Durometer ทดสอบความแข็งไม่สามารถอ่านค่าความแข็งแรง หรือความต้านทานต่อการบุคซิด

มีเฉพาะความแข็งอย่างเดียว



7

รูปที่ 3.10: Shore A vs. Shore D

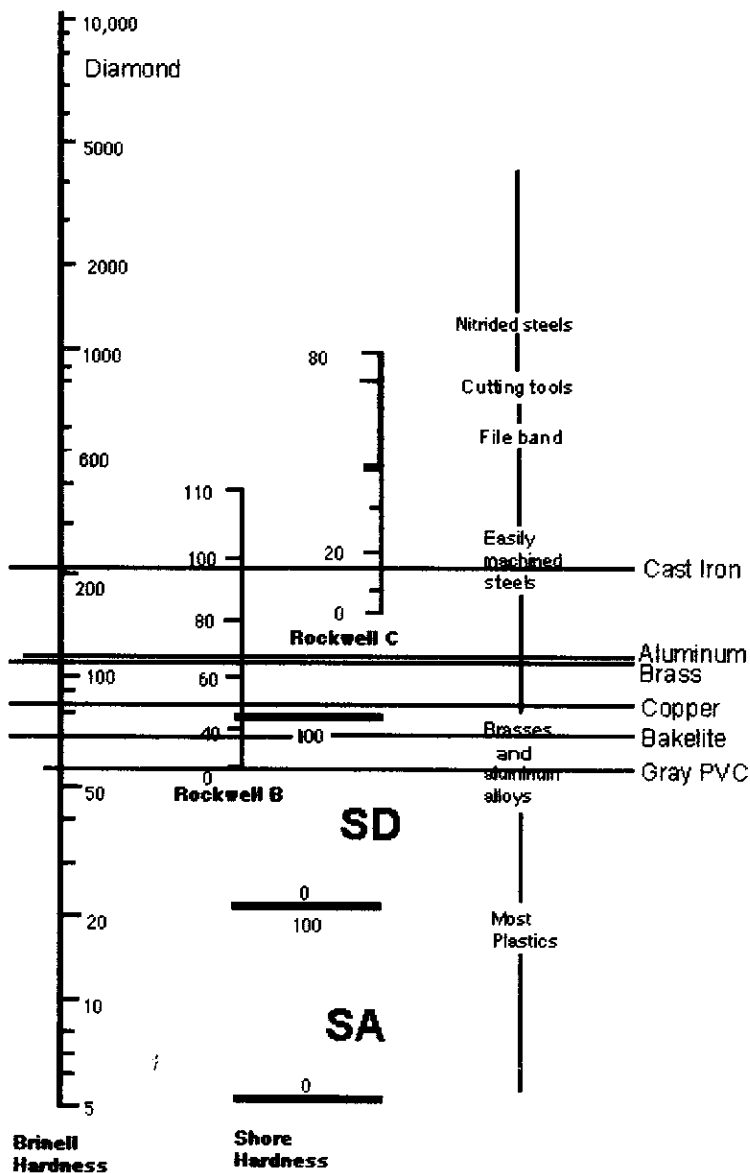


រូបភាព 3.11: Shore D vs. Rockwell M

	Polyurethane Elastomers		Hardness Scales		Conventional Plastics ■ & Rubbers ■
	Durometer A	Durometer D	Durometer A	Rockwell M	
			150 ---	--- Phenolics ■	
			140 ---		
			130 ---		
			120 ---	--- Acrylics ■	
			110 ---	--- Polycarbonate ■	
			100 ---	--- Nylon ■	
Papermaking rolls ---		80 ---	90 ---	--- Polystyrene ■	
Metal-forming wiper dies ---		70 ---	70 ---	--- Polypropylene ■	
		60 ---			
Nonspark hammers ---	95 ---	50 ---	50 ---		
Solid truck tires ---		40 ---			
Metal-forming die pads ---	90 ---	30 ---			
Miller rolls ---	80 ---				
Abrasive-handling pads ---	70 ---			--- Auto tire treads ■	
Silk screen wiper blades ---	60 ---				
Door seals ---	50 ---			--- Inner tubes ■	
Can tester pads ---	40 ---				
Printing rolls ---	30 ---				
	20 ---			--- Rubber bands ■	

រូបភាព 3.12: Hardness comparison scale of some materials

Approximate Comparison of Hardness Scales



รูปที่ 3.13: Comparison of hardness scales

Figure 3.3: The summary table for different hardness testing methods

TEST	TEST METHOD	TEST FORCE RANGE	INDENTER TYPES	ASTM TEST METHOD	MEASURE METHOD
Rockwell	Regular	60, 100, 150 kgs	Conical Diamond & Small Ball	E 18	Depth
	Superficial	15, 30, 45 kgs	Conical Diamond & Small Ball	E 18	Depth
	Light Load	3, 5, 7 kgs	Truncated Cone Diamond	N/A	Depth
	Micro	500, 100 grams	Small Truncated Cone Diamond	N/A	Depth
	Macro	500 to 3000 kgs	5, 10 mm Ball	E 103	Depth
Micro-Hardness	Vickers	5 to 2000 grams	136° Pyramid Diamond	E 384	Area
	Knoop	5 to 2000 grams	1300 x 1720° Diamond	E 384	Area
	Rockwell Type	500, 3000 grams	Truncated Cone Diamond	N/A	Depth
	Dynamic	01 to 200 grams	Triangular Diamond	N/A	Depth
Brinell	Optical	500 to 3000 kgs	5mm, 10 mm Ball	E 10	Area
	Depth	500 to 3000 kgs	5mm, 10 mm Ball	E 103	Depth
Shore	Regular	822 (A) 4550 (D) grams	35° Cone (A) 30° Cone (D)	D 2240	Depth
	Micro	257 (A), 1135 (D) grams	35° Cone (A) 30° Cone (D)	N/A	Depth
IRHD	Regular	597 grams	2.5 mm Ball	D 1415	Depth
	Micro	15.7 grams	395 mm Ball	D 1415	Depth

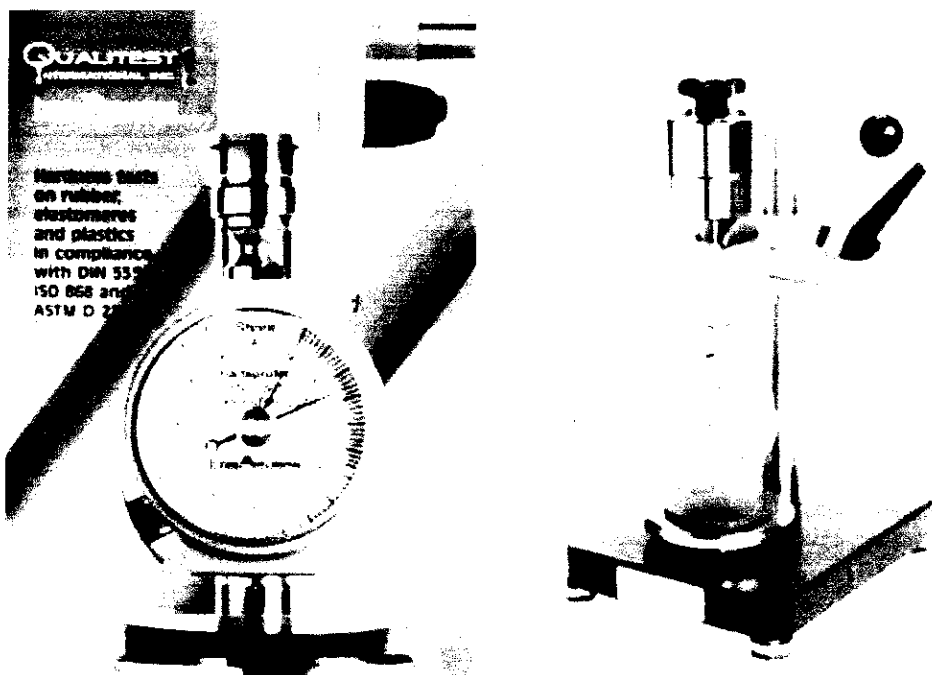
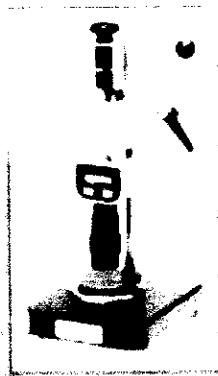
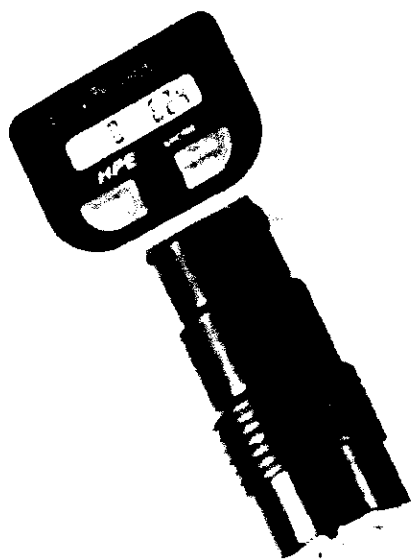
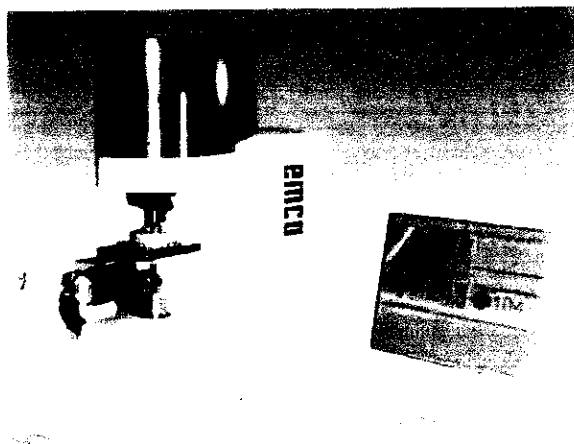


Figure 3.14: For hardness determination of plastics and elastomers according to A, D, B, C, DO, O and OO scales



รูปที่ 3.15: The digital durometer



รูปที่ 3.16: Digital Low Load Tester for Vickers, Brinell, and Knoop Load range

HV 0.1 - HV 30

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอุ่นสาร(Hot plate)
2. บีกเกอร์(Beaker)
3. เทอร์โมมิเตอร์(Thermometer)
4. กรดไฮโดรคลอริก 33%wt
5. ไมโครมิเตอร์
6. หน้ากากกันสารเคมี
7. ถุงมือกันสารเคมี
8. ที่จับวัสดุตัวอย่าง
9. พลาสติกปิดบีกเกอร์เพื่อไม่ให้กรดระเหยออกจากบีกเกอร์
10. เครื่องวัดความแข็ง

วิธีทำการทดลอง

1. ทดสอบความแข็งโดยใช้วิธีร็อคเวลล์

2. ทดลองการทนกรดของวัสดุจะแบ่งเป็น 2 กรณี

- เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) เข้มข้น 20%wt ที่ 85 °C

- เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) เข้มข้น 25%wt ที่ 85 °C

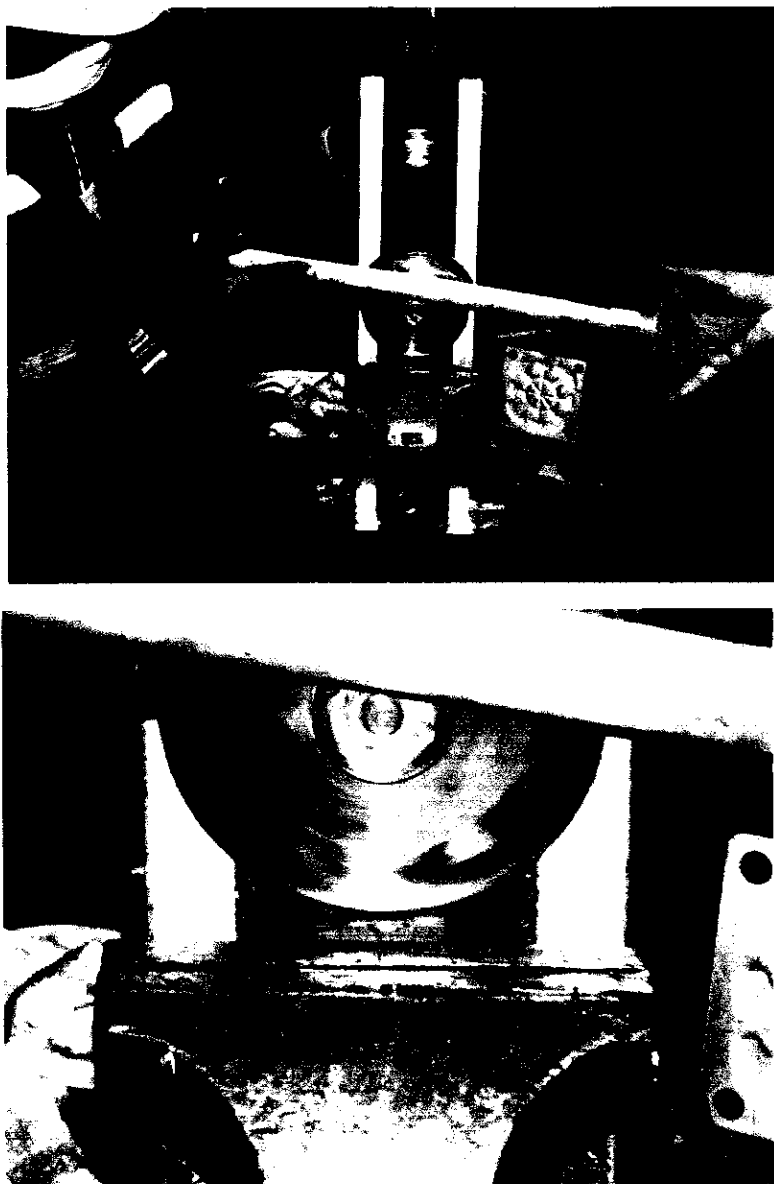
โดยมีภาพแสดงการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.17: แสดงภาพการทดลอง

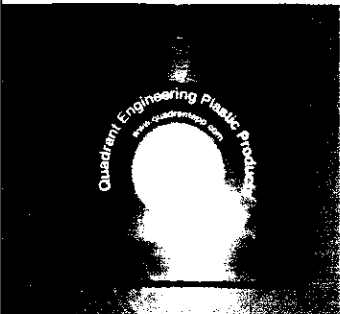
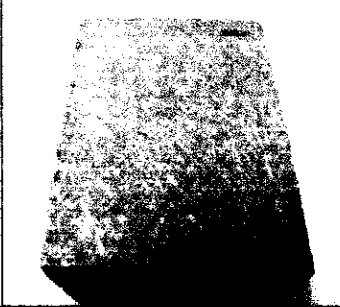
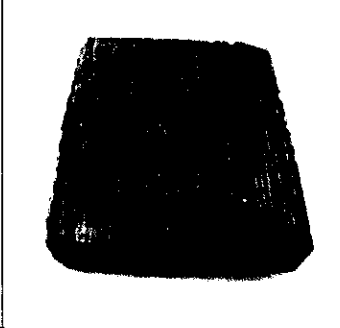
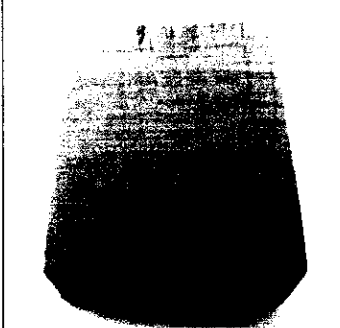
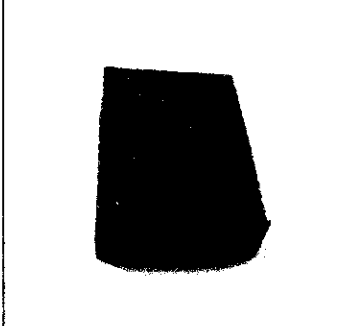
3. ทดสอบ Wear Rate ดังแสดงการทดสอบดังภาพ 3.18 และมี Condition ที่ทดสอบดังนี้

- ทำการจับเวลาของวัสดุแต่ละชิ้นเท่ากับ 5 นาที
- แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นตัวใบเจียรระไนเป็นแผ่นเหล็กที่ได้จากการผลิตจริง
- คนที่ทดสอบมีหน้าที่เพียงประกอบเครื่องเจียรระไนเท่านั้น

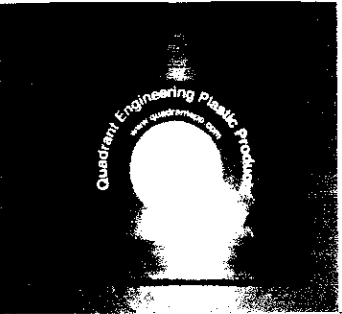

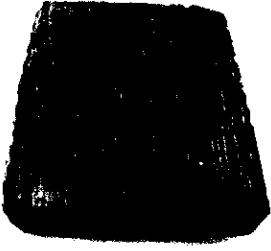
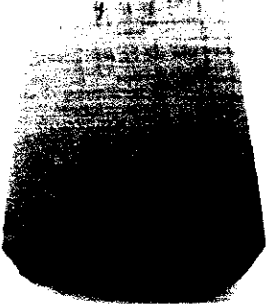



รูปที่ 3.18: การทดสอบ Wear Rate

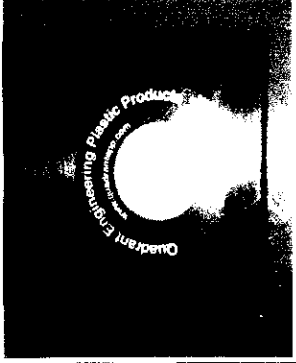
ตารางที่ 3.4: ผลการวัดค่าความแข็ง (Hardness), โดยทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C, 1atm

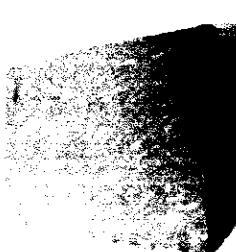
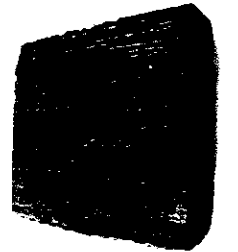
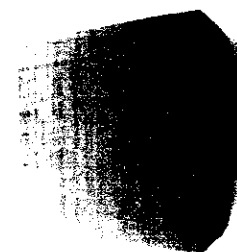
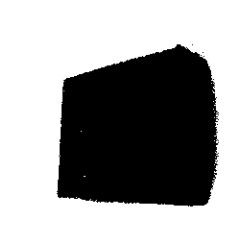
Type	Picture	RWB	RWF	Shore D
HDPE-1000		อ่านค่าไม่ได้	อ่านค่าไม่ได้	61
DURO STONE : DEL THERM		57	-	-
STARLITE : 15610		อ่านค่าไม่ได้	55	-
BAKALITE		อ่านค่าไม่ได้	อ่านค่าไม่ได้	100
EPOXY FR4-G11		6	-	-

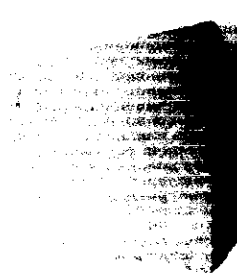
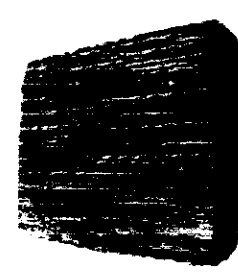
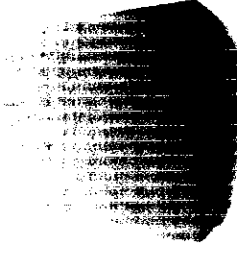

ตารางที่ 3.4: ผลการวัดค่าความแข็ง (Hardness), โดยทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C, 1atm

Type	Picture	RWB	RWF	Shore D
HDPE-1000		อ่านค่าไม่ได้	อ่านค่าไม่ได้	61
DURO STONE : DEL THERM		57	-	-
STARLITE : 15610		อ่านค่าไม่ได้	55	-
BAKALITE		อ่านค่าไม่ได้	อ่านค่าไม่ได้	100
EPOXY FR4-G11		6	-	-

ตารางที่ 3.5: CASE 1 AT 85 °C, 20% HCl

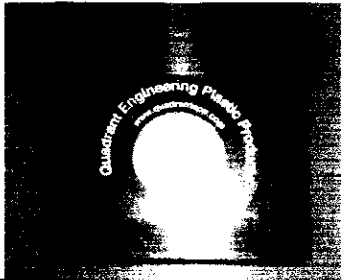
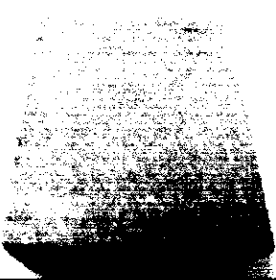
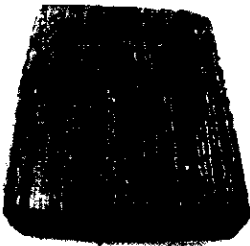


Type	Picture	Piece	Thickness (mm)								Remark			
			BEGIN	1 Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr	6 Hr	17 hr*				
NYLATRON - MC901		1	3.210	3.000	1.760	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	ชิ้นงานละลายหมด ในชั่วโมงที่ 3
		2	3.220	3.020	2.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
		3	3.210	3.010	1.560	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
		4	3.220	3.000	1.640	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
		Avg.	3.220	3.010	1.760	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
ERTALON - 6PLA		1	3.190	3.040	1.860	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	ชิ้นงานละลายหมด ในชั่วโมงที่ 3
		2	3.190	3.000	1.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
		3	3.190	2.890	1.630	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
		4	3.190	2.990	1.310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
		Avg.	3.190	2.980	1.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
HDPE-1000		1	12.150	12.312	12.328	12.33	12.332	12.360	12.35	12.285	บวมขึ้นเล็กน้อย แต่ผิวของวัสดุจะมี ความแข็งแรงลดลง			
		2	12.150	12.31	12.318	12.34	12.34	12.370	12.367	12.290				
		3	12.165	12.333	12.342	12.345	12.325	12.365	12.362	12.295				
		4	12.144	12.302	12.31	12.316	12.33	12.350	12.348	12.285				
		Avg.	12.152	12.314	12.325	12.333	12.33	12.361	12.367	12.289				

Type	Picture	Piece	Thickness (mm)								Remark
			BEGIN	1 Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr	6 Hr	17 Hr*	
DURO STONE : DEL THERM		1	10.099	10.119	10.124	10.117	10.117	10.116	10.122	10.113	เกิดการกัดของกรดทำให้ ผิวหน้าไม่เรียบ ซึ่งเห็นเป็น เส้นใยสังเคราะห์ ,เกิดการ บวมของชิ้นงานเล็กน้อย บวมขึ้น 0.37%
		2	10.090	10.108	10.107	10.138	10.107	10.100	10.108	10.101	
		3	10.084	10.102	10.110	10.116	10.107	10.110	10.170	10.098	
		4	10.087	10.103	10.105	10.103	10.174	10.158	10.110	10.196	
		Avg.	10.090	10.108	10.112	10.119	10.126	10.121	10.128	10.127	
STARLITE : 15610		1	9.019	9.043	9.057	9.076	9.034	9.071	9.019	9.034	ชิ้นงานบวมขึ้น 0.26 %
		2	9.370	9.392	9.443	9.460	9.589	9.556	9.356	9.510	
		3	10.266	10.364	10.349	10.282	10.282	10.363	10.375	10.240	
		4	10.295	10.324	10.363	10.339	10.291	10.359	10.285	10.266	
		Avg.	9.738	9.781	9.803	9.789	9.799	9.837	9.759	9.763	
BAKALITE		1	11.451	11.596	11.553	11.451	11.469	11.550	11.480	11.869	เกิดการบวมของชิ้นงาน เล็กน้อย สีเปลี่ยนจากก่อน การทดลองเล็กน้อย ชิ้นงาน บวมขึ้น 2.3 %
		2	10.290	10.383	10.462	10.348	10.391	10.434	10.593	10.611	
		3	13.056	13.088	13.097	13.110	12.992	13.029	13.050	13.181	
		4	11.840	11.836	11.885	11.836	11.871	11.763	11.933	12.053	
		Avg.	11.659	11.726	11.749	11.686	11.681	11.694	11.764	11.929	
EPOXY FRA-G11		1	10.117	10.161	10.196	10.174	10.171	10.178	10.177	10.121	เกิดการบวมของชิ้นงาน เล็กน้อย บวมขึ้น 0.25%
		2	10.095	10.147	10.142	10.151	10.142	10.157	10.150	10.123	
		3	10.104	10.146	10.141	10.159	10.153	10.175	10.163	10.131	
		4	10.133	10.169	10.182	10.189	10.184	10.194	10.180	10.173	
		Avg.	10.112	10.156	10.165	10.168	10.163	10.176	10.168	10.137	

Type	Picture	Piece	Thickness (mm)								Remark
			BEGIN	1 Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr	6 Hr	17 Hr*	
DURO STONE : DELTERM		1	10.101	10.118	10.104	10.109	10.113	10.121	10.152	10.100	เกิดการกัดของกรดทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ซึ่งเห็นเป็นเส้นใยตั้งคราะห์ ,เกิดการบวมของหินงาเล็กน้อย
		2	10.094	10.117	10.119	10.116	10.117	10.122	10.162	10.100	
		3	10.089	10.112	10.111	10.108	10.120	10.120	10.117	10.095	
		4	10.138	10.172	10.159	10.174	10.164	10.199	10.119	10.252	
		Avg.	10.106	10.130	10.123	10.127	10.129	10.141	10.138	10.137	
STARLITE : 15610		1	10.447	10.419	10.470	10.489	10.483	10.424	10.453	10.373	เกิดการกัดของกรดทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ซึ่งเห็นเป็นเส้นใย
		2	9.912	10.072	10.038	9.923	9.923	10.075	10.068	9.938	ซึ่งคราะห์ชัดเจนกว่า DURO ,
		3	11.438	11.461	11.444	11.447	11.452	11.471	11.448	11.537	เกิดการบวมของหินงาเล็กน้อย
		4	11.654	11.659	11.655	11.631	11.648	11.663	11.646	11.642	และเกิดการกัดสีของหินงาได้
		Avg.	10.863	10.903	10.902	10.873	10.877	10.908	10.904	10.873	สารละลายยาลดสีขึ้น
BAKALITE		1	13.631	13.671	13.637	13.667	13.614	13.628	13.692	13.526	เกิดการบวมของหินงา
		2	13.827	13.907	13.827	13.838	13.828	13.803	13.813	13.834	เล็กน้อย สีเปลี่ยนจากก่อน
		3	13.373	13.435	13.389	13.366	13.376	13.386	13.362	13.380	การทดลองเล็กน้อย
		4	13.213	13.240	13.261	13.245	13.362	13.306	13.230	13.331	
		Avg.	13.511	13.563	13.529	13.529	13.545	13.531	13.524	13.518	
EPOXY FR4-G11		1	10.104	10.171	10.199	10.222	10.233	10.232	10.249	10.212	เกิดการบวมของหินงา
		2	10.106	10.189	10.221	10.237	10.248	10.252	10.275	10.178	เล็กน้อย
		3	10.116	10.215	10.233	10.251	10.238	10.264	10.267	10.195	
		4	10.106	10.181	10.206	10.215	10.209	10.214	10.234	10.187	
		Avg.	10.108	10.189	10.215	10.231	10.232	10.241	10.256	10.193	

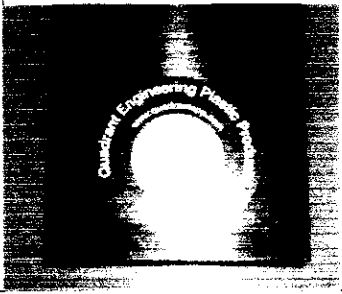
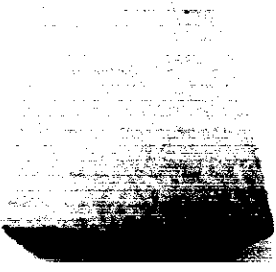

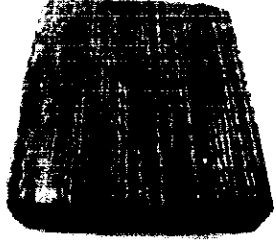
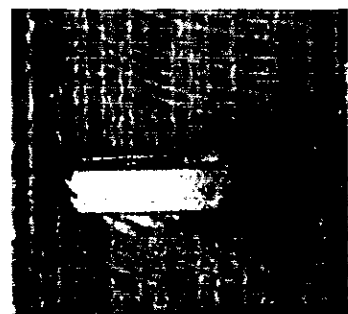
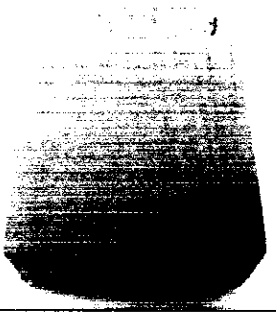


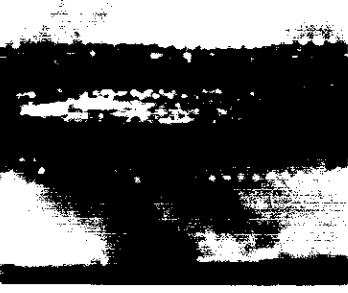
ตารางที่ 3.7: ผลการทดลองจุ่มวัสดุลงใน Tank กรด

โดยที่ใน Tank กรดจริงมี % HCl = 13-16% และอุณหภูมิอยู่ที่ 80-85 °C และทำการจุ่มวัสดุทิ้งไว้ใน Tank กรด 5 วัน

Type	Picture	Thickness (mm)	
		Begin(mm)	5 Day(mm)
HDPE-1000		12.289	14.315 (ผิวของวัสดุอ่อนมากเนื่องจากทนอุณหภูมิได้เพียง 80 °C)
DURO STONE : DELTHERM		10.090	10.095
STARLITE : 15610		10.446	10.460
BAKALITE		8.419	11.468
OXY FR4-G11		10.152	10.160

ตารางที่ 3.8: ผลการวัดค่า Wear Rate ซึ่งทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C, 1atm

rpm = 377 m/min ระยะทางในการทดสอบ 2 km. โดยไม่ใช้สารหล่อลื่น

Type	Picture begin	Picture after	Wear Rate(mm/hr)
HDPE-1000		-	-
DURO STONE : DEL THERM			16.08
STARLITE : 15610			8.64
BAKALITE			30.72
EPOXY FR4-G11			66.96

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. จาก ตาราง 3.4 ผลการวัดความแข็งที่ผิวของวัสดุ ทั้งหมด 5 ชนิดพบว่าความแข็งของ

DURO STONE: DELTHERM > EPOXY FR4-G11 > HDPE-1000 STARLITE: 15610 > BAKALITE > HDPE-1000

2. จาก ตารางที่ 3.5 และ 3.6 ทำการทดสอบการทนต่อกรดของวัสดุพบว่า

2.1 จาก ตารางที่ 3.5 ทดสอบที่ 85 °C, 20%HCl โดยใช้วัสดุทดสอบ 7 ชนิด

- NILATRON-MC901 กับ ERTALON-6PLA ละลายหมดภายใน 3 ชั่วโมง

- HDPE-1000 ชีงงานบวมขึ้นเล็กน้อยแต่วัสดุจะมีความแข็งลดลงจากตอนเริ่มต้น

- DURO STONE: DELTHEMRM เมื่อโดนกัดกรดผิวหน้าของวัสดุโดนกรดกัดจนเห็นเป็นเส้นใย และเกิดการบวมของชีงงานเล็กน้อย

- STARLITE: 15610 เกิดการบวมของชีงงานเล็กน้อย

- BACKALITE เกิดการบวมของชีงงานและสีเปลี่ยนก่อนการทดลองเล็กน้อย

- EPOXY FR4-G11 เกิดการบวมของชีงงานเล็กน้อย

2.2 จาก ตารางที่ 3.6 ทดสอบที่ 85 °C, 25%HCl

- DURO STONE: DELTHEMRM เมื่อโดนกัดกรดผิวหน้าของวัสดุโดนกรดกัดจนเห็นเป็นเส้นใย และเกิดการบวมของชีงงานเล็กน้อย

- STARLITE: 15610 เกิดการกัดของกรดทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ซึ่งเห็นเป็นเส้นใยสังเคราะห์

ชัดเจนกว่า DURO, เกิดการบวมของชีงงานเล็กน้อยและเกิดการกัดสีของชีงงานได้สารละลายสีดำ

- BACKALITE เกิดการบวมของชีงงานและสีเปลี่ยนก่อนการทดลองเล็กน้อย

- EPOXY FR4-G11 เกิดการบวมของชีงงานเล็กน้อย

3. จาก ตารางที่ 3.7 ทำการนำเอาชีงงานลงใน Tank กรดโดยทิ้งไว้ 5 วัน ซึ่งกรดมีความเข้มข้น 13-16 และอุณหภูมิอยู่ที่ 80-85 °C พบว่า

HDPE-1000 ผิวของวัสดุอ่อนมากเนื่องจากวัสดุทนอุณหภูมิได้เพียง 80 °C และวัสดุบวมขึ้น 14.15 %

DURO STONE: DELTHEMRM บวมขึ้น 0.05 %

STARLITE: 15610 บวมขึ้น 0.13 %

BACKALITE บวมขึ้น 36.22%

EPOXY FR4-G11 บวมขึ้น 0.08%

4. ผลการเปรียบเทียบค่า Wear Rate จากน้อยไปมากดังนี้

STARLITE: 15610 <DURO STONE: DELTHEMRM< BACKALITE<EPOXY FR4-G11

ดังนั้นจึงทำการเลือก STARLITE: 15610 เป็นวัสดุกัน Scratch เนื่องจาก

- DURO STONE: DELTHEMRM มีความแข็งมากกว่าเหล็กที่ทำการผลิตคือ 57 RWB ส่วนเหล็กที่ผลิตในกระบวนการมีความแข็งอยู่ในช่วง 50-90 RWB ซึ่งจะทำให้เกิดการขูดขีดในเหล็กแผ่นตอนผลิตจริงได้
- HDPE-1000 เมื่อทำการแช่ใน Tank กรดจริงซึ่งใน Tank กรด มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 80-85 °C แต่ HDPE-1000 ทนอุณหภูมิได้เพียง 80 °C ซึ่งทำให้ความแข็งของวัสดุลดลง
- BACKALITE มีการบวมของชิ้นงานสูงมากและมีอัตราการ Wear สูง
- EPOXY FR4-G11 มีอัตราการ Wear สูงสุดซึ่งไม่เหมาะกับการเป็นตัวกัน Scratch

STARLITE: 15610 มีอัตราการ Wear น้อยที่สุด ทนต่อกรดและมีการบวมตัวน้อย

สรุปผลการทดลอง

ดังนั้นจึงทำการเลือก STARLITE: 15610 เป็นวัสดุกัน Scratch

เอกสารอ้างอิง

<http://www.bikepro.com/products/metals/hardness.html>

<http://www.wargamer.org/GvA/background/hardness1.html>

<http://www.bartleby.com/65/ha/hardness.html>

<http://www.bikepro.com/products/metals/hardness.html>

<http://www.britannica.com/bcom/cb/article/8/0,5716,40048+1,00.html>

<http://isl-garnet.uah.edu/Composites/s.html#Shore>

<http://www.matweb.com>

<http://www.minerals.net/resource/property/hardness.htm>

<http://www.dowcorning.com> a: Ref. By Pecht Handbook of Electronic Package Design, 1991

http://www.hardnesstesters.com/hardness_train3.htm

PROPERTIES	UNIT	CENTILENE HD 1000
Density	g/cm ³	0.93
Thermal Property		
Melting Temperature	°C	130-135
Thermal Conductivity at 23 °C	W/m.K	0.4
Average coeff. Of linear therm. Exp. Between 23 and 100 °C	10 ⁻⁶ m/m.K	200
Temperature of deflection under load:		
- methode A:1.8 Mpa	°C	42
Vicat softening temperature - VST/B50	°C	80
Max. allowable service temperature in air:		
- for short periods	°C	120
- continuously: for 20,000 hr	°C	80
Min. service temperature	°C	-200
Flammability		
- "Oxigen Index"	%	< 20
Mechanical Properties at 23 °C		
Tension test:		
- tensile stress at yield	Mpa	19
- tensile strain at yield	%	15
- norminal tensile strain at break	%	> 50
- tensile modulus of elasticity	Mpa	750
Compression test		
- compressive stress at 1 / 2 / 5 % norminal strain	Mpa	4.5 / 8 / 14
Charpy impact strength - Unnotched	kJ/m ²	no break
Charpy impact strength - Notched	kJ/m ²	110 P
Charpy impact strength - Notched (double 15 notch)	kJ/m ²	≥ 170

Compare mechanical properties of materials

Mechanical Properties		Materials				
Machanical characteristics	Units	Duro Stone : Deltherm	Starlite : 15611	Bakalite	Epoxy FR4-G11	
Compressive strength	MPa	520	340	170	350-450	
Compressive strength at 200 °C	MPa	350	340	170	350-450	
Flexural strength	MPa	420	150	130	350-450	
Density	g/cm ³	1.85	1.8	1.3 - 1.4	1.9-2.1	
Water absorption	%	0.08	-	-	0.14	
Thermal characteristics						
Heat resistance (standard)	°C	240	< 250	<110	<210	
Max heat resistance (for short time priods)	°C	280	250	110	210	
Thermal conductivity	W/m K	0.24	-	0.2	-	
Coefficient of linear expansion	10E-6/K	15	39	-	-	