หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

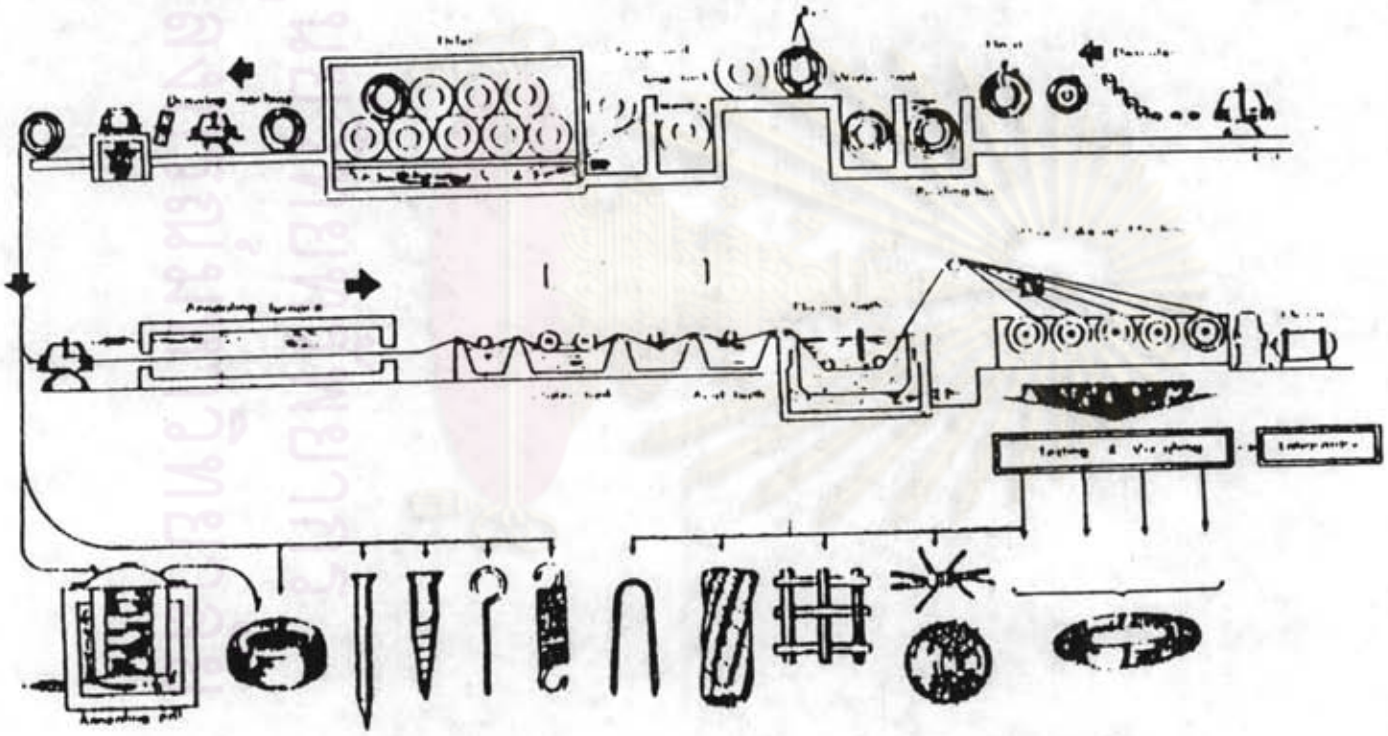
บทที่ 3

ขบวนการผลิตลวดเหล็ก

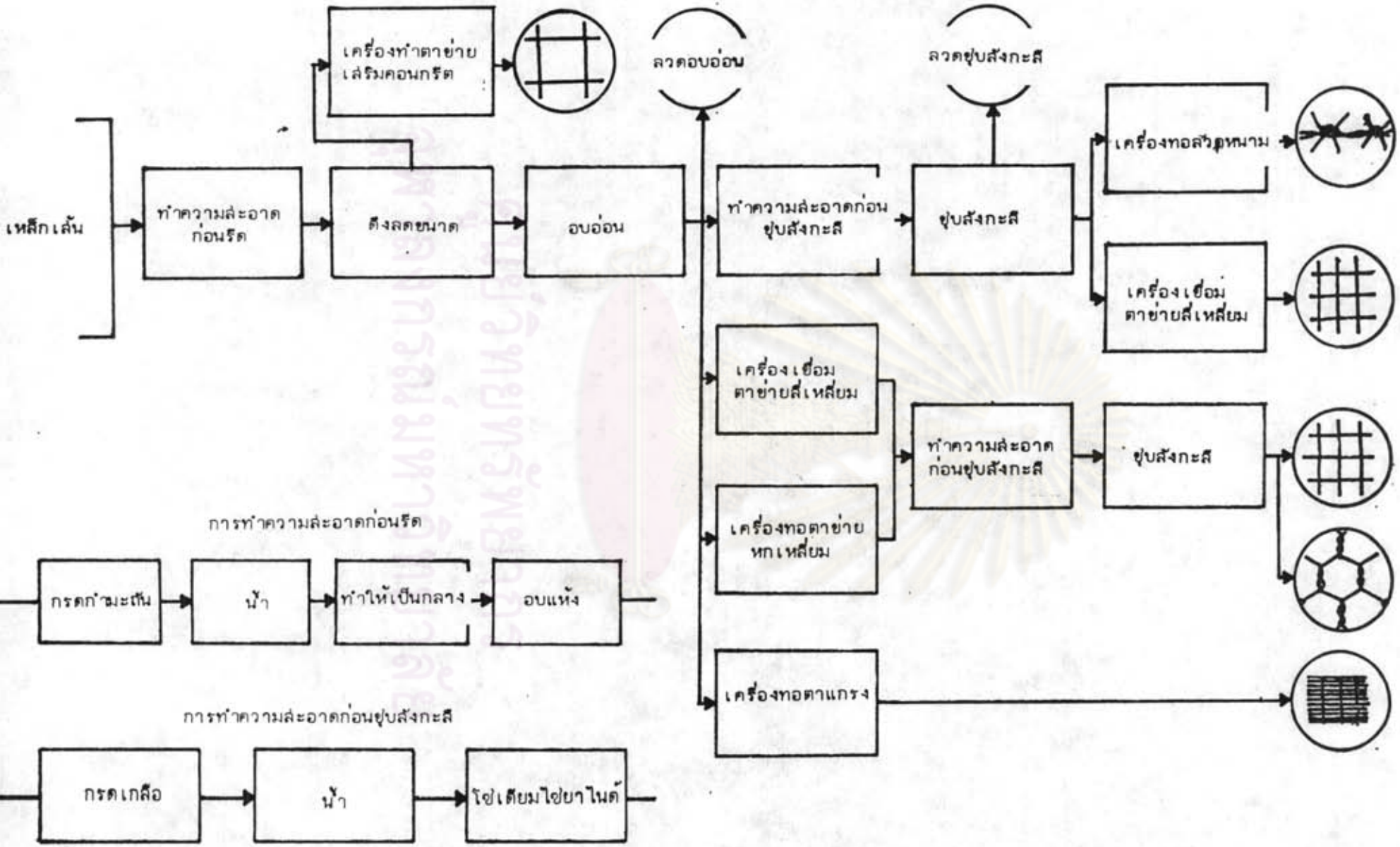
ลวดเหล็กนับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งที่เจริญเติบโตควบคู่ไปกับการพัฒนาประเทศ ในชีวิตประจำวัน เราจะพบผลิตภัณฑ์ที่มาจากลวดเหล็กได้โดยรอบตัวเรา ดังนั้นการผลิตลวดเหล็กจึงเป็นสิ่งที่เราควรให้ความสนใจ ขบวนการผลิตลวดเหล็กเป็นสิ่งที่เรียนรู้ได้ไม่ยากนัก เพราะใช้เทคโนโลยีไม่สูงมาก และอุตสาหกรรมชนิดนี้ก็เจริญเติบโตมานาน เนื่องจากงานวิจัยนี้จะทำในโรงงานผลิตลวดเหล็ก จึงจะขอกล่าวถึงขบวนการผลิตลวดเหล็ก และผลผลิตต่อเนื่องบางชนิดในโรงงานตัวอย่าง จากแผนภูมิรูปที่ 3.2 แสดงขบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง ผลผลิตของโรงงานก็คือ ลวดเหล็กขนาดต่าง ๆ ทั้งที่ชุบสังกะสี และไม่ชุบสังกะสี ลวดหนาม ตาข่ายขนาดต่าง ๆ และรูปร่างต่าง ๆ โดยใช้วัตถุดิบอย่างเดียวกันก็คือ เหล็กเส้น (Steel wire rod)

ขบวนการผลิตลวดเหล็ก

ทางโรงงานใช้เหล็กเส้น (Steel wire rod) ขนาด 5.5 ม.ม. โดยสั่งมาเป็นม้วนจากนั้นก็นำเหล็กเส้นนี้มาทำความสะอาด เพื่อขจัดไขมัน สิ่งสกปรก และสนิมเหล็ก ในการทำความสะอาดนี้ใช้กรดกำมะถัน (Sulphuric acid) หลังจากนั้นก็จะล้างด้วยน้ำเพื่อทำความสะอาด แล้วนำไปจุ่มในถังละลายปูนขาว เพื่อทำให้กรดหมดฤทธิ์ (Neutralize) และปูนขาวที่เกาะลวดก็จะเป็นสารเคลือบป้องกันการเกิดสนิมหลังจากล้าง ขณะที่ออกจากการทำความสะอาดนี้จะนำไปเข้าเตาอบ เพื่อให้เหล็กที่ล้างนี้แห้งและลดความชื้น ต่อจากนี้ก็สามารถนำเหล็กเส้นนี้ไปดึงลดขนาดลงได้ตามขนาดที่ต้องการสอดคล้องกับงานที่จะนำไปใช้ และถ้าต้องการลวดขนาดเล็กมากซึ่งไม่สามารถดึงลดขนาดอีกได้แล้ว ก็จะนำลวดนี้ไปอบอ่อน (Annealing) เมื่อลวดนี้อ่อนลงแล้วก็จะนำไปดึงลดขนาดอีกได้ โดยทั่วไปแล้วลวดเมื่อถูกดึงมาก็จะมีความแข็งมากซึ่งต้องอบเสมอ ลวดที่อบแล้วส่วนหนึ่งสามารถนำไปจำหน่ายได้เลย และอีกส่วนหนึ่งก็จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่น เช่น ตาข่าย ลวดหนามลักษณะต่าง ๆ แต่ลวดที่อบแล้วก่อนจะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ส่วนมากต้องชุบสังกะสีก่อน เพื่อให้สวยงามและไม่ขึ้นสนิม และเมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แล้วก็สามารถห่อ



รูปที่ 3.1 แสดงขบวนการผลิตลวดเหล็กและผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง



รูปที่ 3.2 แสดงขบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

และเก็บเข้าพัสดุเพื่อรอส่งไปจำหน่ายได้เลย จากที่ขบวนการผลิตที่กล่าวแล้ว เราพอจะแบ่งแยกขบวนการผลิตของโรงงานได้เป็นลักษณะใหญ่ ๆ ได้ 5 ขบวนการ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดแต่ละขบวนการดังนี้

1. ขบวนการทำความสะอาด
2. ขบวนการดึงลดขนาด
3. ขบวนการอบอ่อน
4. ขบวนการชุบสังกะสี
5. ขบวนการทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

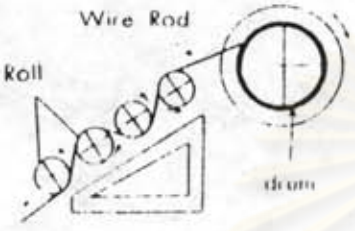
1. ขบวนการทำความสะอาด

ในอุตสาหกรรมลวดเหล็ก ขั้นตอนการทำความสะอาดเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ การทำความสะอาดโดยวิธีทางกลและการทำความสะอาดโดยใช้สารเคมี

1.1. การทำความสะอาดโดยวิธีทางกล เนื่องจากสิ่งสกปรกในลวดเหล็กส่วนหนึ่งก็คือ สนิมเหล็ก ซึ่งเกิดจากการที่เหล็กเส้นซึ่งเป็นวัตถุดิบของขบวนการผลิต ได้ผ่านขบวนการรีดร้อนมาก่อนทำให้ผิวของเหล็กเส้นนี้เป็นสนิม (เหล็กออกไซด์) เพื่อกำจัดสนิมนี้เราสามารถใช้เครื่องกำจัดสนิมได้ (Descaling machine or Wire winding machine) หลักการทำงานของเครื่องเป็นแบบง่าย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องกำจัดสนิม



Diameter of roll	100mm/- 150mm/-
Number of rolls	4 - 6
Diameter of drum	600mm/- 700mm/-
Rotation of drum	45 - 55 r.p.m.
Power required	5 H.P. - 7½ H.P.

รูปที่ 3.3 แสดงหลักการทำงานของเครื่องกำจัดสนิม

ส่วนสำคัญของเครื่องก็คือ ลูกกลิ้งที่เรียงกันไว้ในแนวเดียวกันหลายลูก และทำการหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม เหล็กเส้นที่จะทำความสะอาดจะถูกขึงอยู่ระหว่างลูกกลิ้งสลับกันไปมาหลังจากที่ลูกกลิ้งหมุนนั้น เหล็กจะถูกทำให้วิ่งซิกแซกไประหว่างลูกกลิ้ง และโดยธรรมชาติสนิมเหล็กกับผิวลูกกลิ้งจะมีความฝืดอยู่ ทำให้ขณะวิ่งผ่านลูกกลิ้งนั้นสนิมจะหลุดออกเอง และขณะที่เหล็กเส้นวิ่งผ่านลูกกลิ้ง จะทำให้เหล็กเส้นถูกดัดไปมาซึ่งเหล็กมีความอ่อนตัวมากกว่าสนิมทำให้สนิมเหล็กร่อนหลุดได้ และในเครื่องกำจัดสนิมจะมีชุดแปรงลวด ในการทำความสะอาดอีกชุดหนึ่งหลังจากที่เหล็กวิ่งผ่านลูกกลิ้งแล้ว

ในทางปฏิบัติขบวนการกำจัดสนิมโดยใช้เครื่องกำจัดสนิม (Descaling - machine) บางครั้งก็ไม่จำเป็นโดยการใช้วิธีจุ่มลงในอ่างกรดแทนเลยได้ หรืออาจจะผ่านเครื่องกำจัดสนิมแล้วนำไปจุ่มในอ่างกรดอีกก็ได้ ข้อดีของเครื่องกำจัดสนิม ที่แตกต่างจากการจุ่มในอ่างกรด ก็คือ ประหยัดบริเวณการทำงาน เงินลงทุน คนงาน และเวลาในการทำงาน

1.2. การทำความสะอาดโดยใช้สารเคมี เหล็กเส้นที่ผ่านเครื่องกำจัดสนิมแล้วก็ยังมีสนิมบางส่วนจับติดแน่นอยู่ที่ผิว ซึ่งสามารถทำให้สะอาดจริง ๆ ได้ด้วยกรด เพื่อให้ทำปฏิกริยา

กับสนิม โดยปกติกรดที่ใช้ก็คือ กรดกำมะถัน (Sulphuric acid, H_2So_4) หรือกรดเกลือ (Hydrochloric acid, HCL) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้มีความหมายแตกต่างกันบ้างทั้งความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายกรดที่ใช้

กรดกำมะถัน (Sulphuric acid) จะใช้ได้ดีกับการกำจัดสะเก็ดออกไซด์ของเหล็กคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นเหล็กเส้น และเป็นลวดเหล็กที่มีคาร์บอนไม่เกิน 0.6% และยังใช้ได้ดีกับการผลิตแบบต่อเนื่อง เพราะว่ากรดกำมะถันจะทำปฏิกริยาได้เร็วกว่ากรดเกลือ เมื่อเปรียบเทียบกับกรดเกลือแล้วปรากฏว่า กรดกำมะถันมีราคาต่ำกว่าประมาณครึ่งหนึ่ง และการระเหยกรดกำมะถันก็มีน้อยกว่าในปริมาณงานเท่า ๆ กันกรดกำมะถันจะใช้น้อยกว่า เพราะกรดกำมะถันทำปฏิกริยาได้มากและรวดเร็วกว่า แต่ข้อเสียของกรดกำมะถันเมื่อเปรียบเทียบกับกรดเกลือก็คือ ทำให้ผิวขึ้นงานเป็นสีดำและมีรอยด่าง ในกรณีของเหล็กคาร์บอนสูงจะมีเกลือเหล็กซึ่งจะทำให้กรดกำมะถันหมดฤทธิ์

กรดเกลือ (Hydrochloric acid) เหมาะสำหรับการทำความสะอาดงานรีดร้อน หรือเหล็กเส้นและลวดคาร์บอนที่ผ่านขบวนการกระทำด้วยความร้อน กรดเกลือจะทำปฏิกริยากับผิวของเหล็กแล้วเป็นสีเท่าอ่อน ๆ เรียบ การทำความสะอาดแบบต่อเนื่องสามารถใช้กรดเกลือได้ เพราะจะทำให้ผิวเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำได้โดยการจุ่มในระยะเวลาไม่นานนักประมาณ 1-20 นาที ในสารละลายที่ร้อนความเข้มข้นของกรดประมาณ 15-20% โดยน้ำหนัก กรดเกลือจะทำปฏิกริยากับขึ้นงานแล้วให้ผิวเสียน้อยกว่า กรดเกลือจะยังคงใช้ได้แม้กระทั่งสารละลายนี้มีเหล็กเจือปนถึง 13% ในขณะที่กรดกำมะถันมีเหล็กเจือปนได้แค่ 8% โดยน้ำหนักเท่านั้น กรดเกลือยังล้างทำความสะอาดได้ง่าย เพราะว่ามีคลอรีนผสมอยู่มาก ข้อเสียของกรดเกลือก็คือราคาสูงกว่ากรดกำมะถัน และต้องควบคุมการระเหยด้วย

1.3. การหาความเข้มข้นของกรดและเหล็ก ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ในการหาความเข้มข้นควรอยู่ในบริเวณทำงาน และการทดสอบทำ 8 ชั่วโมง หนึ่งหรือสองครั้งก็พอ

การหาความเข้มข้นของกรดโดย การนำสารละลายกรดที่จะทดสอบความเข้มข้น 5 มิลลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 75-100 มิลลิเมตร และรวมกับ methyl orange indicator 2-3 หยด และวิเคราะห์ด้วยการเติมสารละลาย 1.02 N Sodium carbonate จากบิวเร็ตจนกระทั่งสีแดงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง สารละลายจะต้องกวนระหว่างการ titration ด้วย แต่ละมิลลิตร ของ Sodium carbonate จะสมดุลย์กับ 1 กรัมของกรดต่อ 100 มิลลิตร ของสารละลาย การวิเคราะห์กรดกำมะถันสามารถหาได้จากสูตร

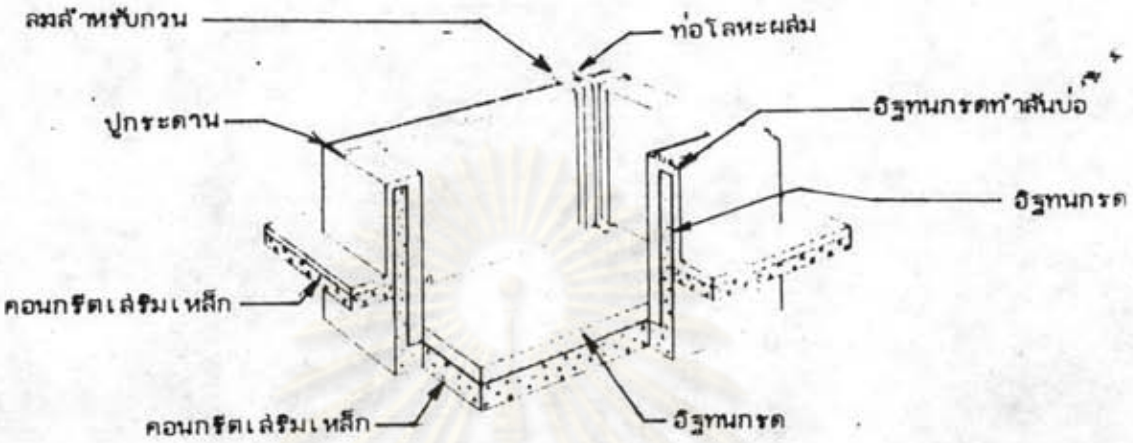
$$\text{Wt\% } H_2SO_4 = \frac{\text{ml } Na_2CO_3 \times N \times 0.049 \times 100}{\text{ml sample} \times \text{specific gravity}}$$

เมื่อ N คือ normality of the sodium carbonate

และ Specific gravity ของสารละลายกรดจะต้องตรวจวัดจากสูตรข้างบน สามารถหาของกรดเกลือได้โดยการคูณด้วย 0.7449

การหาความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายกรด โดยการนำสารละลายกรดที่จะทดสอบ 1 มิลลิลิตร มาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดกำมะถัน 50% 5 มิลลิลิตร กับ diphenylarmine indicator 5 หยด ทั้งหมดนั้นผสมกันแล้ววิเคราะห์ด้วย Standard potassium dichromate จนกระทั่งเป็นสีน้ำเงินแก่ (deep-blue) 1 มิลลิลิตร ของสารละลายที่วิเคราะห์จะเท่ากับ 1% ของเหล็ก แต่การหาความเข้มข้นของเหล็กที่ง่ายก็โดยการใช้ ไฮโดรมิเตอร์วัดโดยเทียบได้จาก 1% เหล็ก = 3.5° Baume ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

1.4. การหยุดปฏิกริยาของกรด การกำจัดสนิมโดยการจุ่มชิ้นงานลงไปในสารละลายกรดนั้น เราจะต้องระมัดระวังเรื่องเวลาด้วยเพราะว่ากรดไม่ได้ทำปฏิกริยากับสนิมเหล็กเท่านั้น มันสามารถจะกัดกร่อนเนื้อเหล็กได้ด้วยฉะนั้นเมื่อเราเอาชิ้นงานชิ้นจากอ่างกรดแล้วเราจะต้องหยุดปฏิกริยาของกรดด้วยการจุ่มในสารละลายบางตัว นอกจากจะไม่ให้เหล็กผุกร่อนแล้วยังเป็นการลดไฮโดรเยน ซึ่งจะทำให้เหล็กเปราะด้วย และยังลดความสิ้นเปลืองกรดด้วยถ้าเราแช่เหล็กไว้นาน สารที่ใช้หยุดปฏิกริยานี้มีทั้งสารธรรมชาติและสารสังเคราะห์ เหล็กซัลเฟต (iron sulfates) ที่สะสมอยู่ในสารละลายก็เป็นตัวที่จะหยุดปฏิกริยากรดได้ แต่เหล็กซัลเฟตนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของกรดลดลงในทางปฏิบัติเราใช้ปูนขาวเป็นตัวหยุดปฏิกริยาโดยนำเหล็กล้างน้ำแล้วนำไปชุบปูนขาวผสมน้ำมันสบู่เพื่อหยุดปฏิกริยา และเป็นตัวหล่อลื่นขณะดึงรีดลดขนาดด้วย แล้วจึงนำไปเข้าเตาอบเพื่อให้แห้งและลดความชื้นด้วย



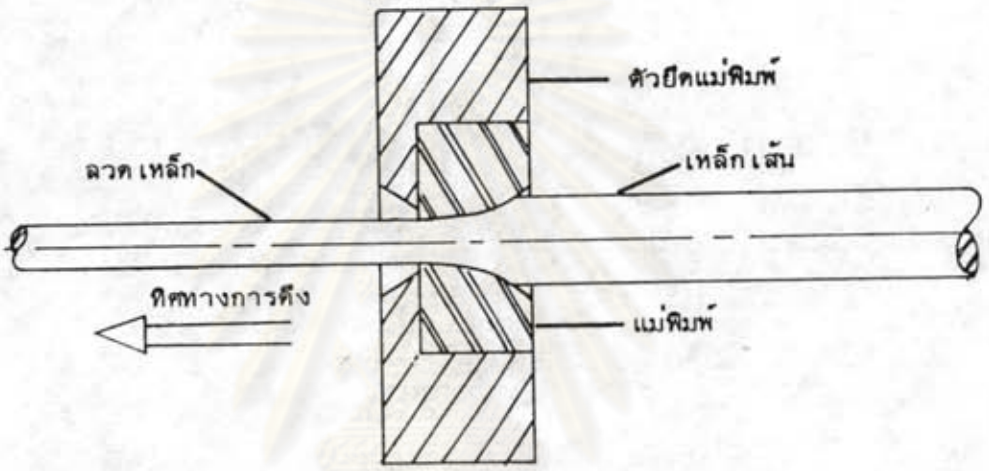
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของอ่างกรด

เนื่องจากกรดจะทำปฏิกริยาได้ง่ายกับโลหะอ่างกรดจึงไม่ควรทำจากโลหะในทางปฏิบัติ เราสามารถใช้อิฐที่ทนกรดภายในอ่างได้ ดังรูปที่ 3.4 และในปัจจุบันเราสามารถใช้เหล็กทำถังและภายในก็บุด้วยพลาสติกเสริมใยแก้ว เพราะว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ในบริเวณที่ทำความสะอาดด้วยกรดนั้นควรมีการระบายอากาศที่ดี เพราะเมื่อเหล็กทำปฏิกริยากับกรดจะเกิดแก๊สขึ้น และน้ำกรดที่หมดฤทธิ์แล้วก่อนจะปล่อยทิ้งจะต้องส่งเข้าบ่อขจัดน้ำเสีย เพื่อทำให้น้ำนี้สะอาดเพียงพอจึงจะทิ้งได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การดึงลดขนาด

ขบวนการนี้กล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของโรงงาน เพราะเป็นขบวนการนำเหล็กเส้นมาลดขนาดให้ได้ขนาดต่าง ๆ กันเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ หลักการของการดึงลดขนาด (Drawing) อาศัยหลักการง่าย ๆ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 หลักการเบื้องต้นของการดึงลดขนาด

การดึงลดขนาดเป็นวิธีการแปรรูปโลหะแบบเย็น (Cold Working Process) โดยขบวนการนี้ระหว่างการแปรรูปเราไม่ต้องให้ความร้อนกับชิ้นงาน และผิวของชิ้นงานที่ได้ก็จะเรียบเป็นมัน วิธีการดึงลดขนาดเหมาะกับการดึงลวดเส้นเล็กเพราะใช้แรงในการดึงไม่มาก การลดขนาดลงแต่ละครั้งจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ กล่าวคือ

2.1. ความต้องการในการลดขนาดว่ามากน้อยแค่ไหน

2.2. ความเครียดที่มีอยู่ในชิ้นงานก่อนเข้าแม่พิมพ์

2.3. แรงดึงของเครื่องจักรที่สามารถใช้ได้

2.4. เนื่องจากเป็นการดึง ดังนั้นขนาดของลวดที่ผ่านแม่พิมพ์มานั้นสามารถรับแรงดึงได้หรือไม่

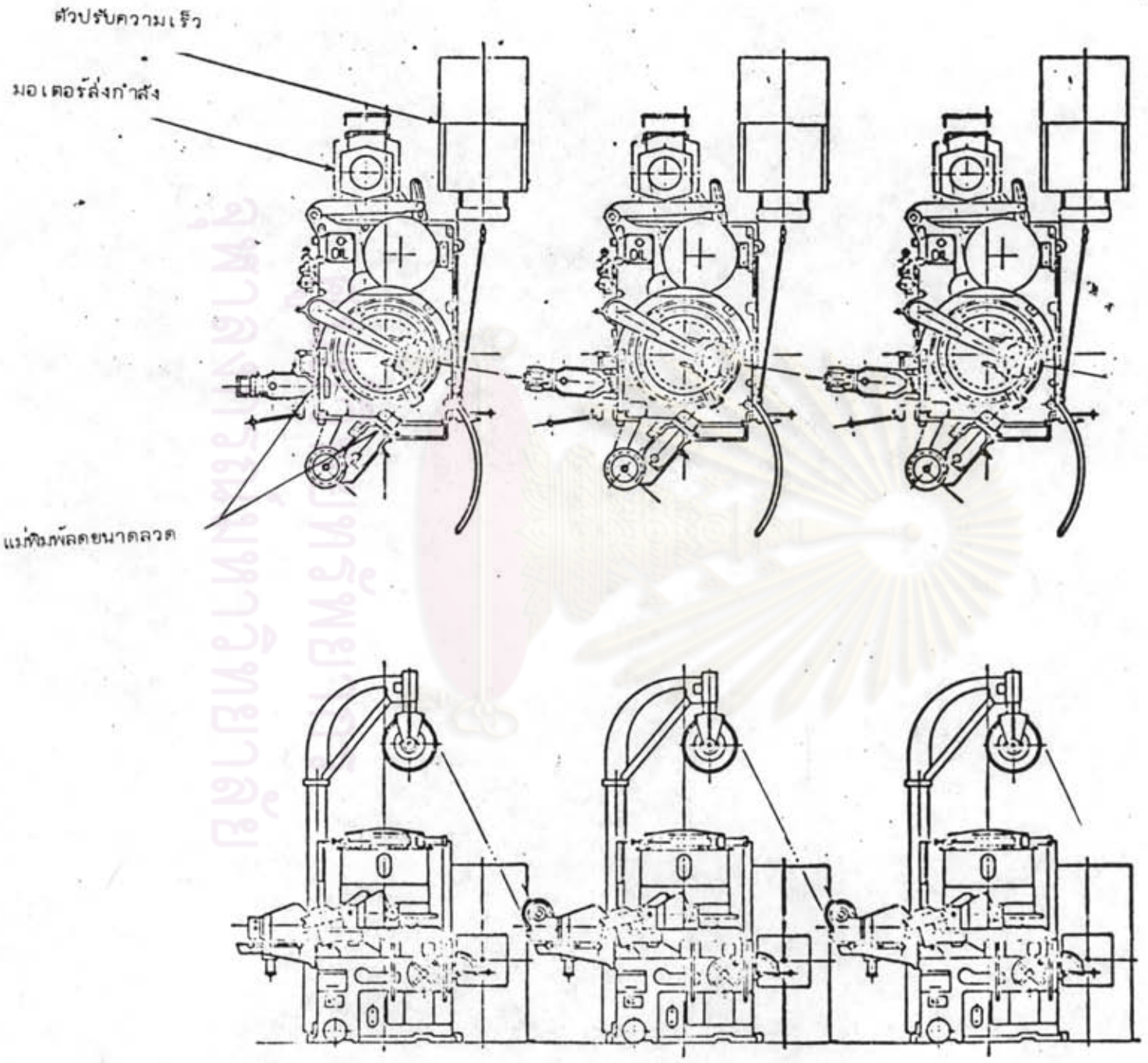
2.5. คุณสมบัติของวัตถุดิบโดยเฉพาะความสามารถในการลดพื้นที่หน้าตัด (Reduction of Area) และความสามารถในการยืดตัว (Elongation) เป็นต้น

เนื่องจากองค์ประกอบหลายประการในการดึงลดขนาด ในทางปฏิบัติการจะลดขนาดลงมาก ๆ จะดึงลวดผ่านแม่พิมพ์หลายตัว ซึ่งในเครื่องจักรแต่ละชุดจะสามารถติดแม่พิมพ์ได้หลายตัวซึ่งมีขนาดเรียงกันไปจากใหญ่ไปเล็ก แม่พิมพ์ที่กล่าวนี้จะทำจากวัสดุที่แข็งมาก สามารถทนการเสียดสีได้ดี แต่ถึงกระนั้นมันก็ยังสึกหรอได้ ซึ่งแม่พิมพ์ที่สึกหรอก็หมายถึงขนาดรูใหญ่กว่าปกติทำให้ใช้งานไม่ได้ ทางโรงงานจะนำมาขัดรูด้วยผงกากเพชรให้ขนาดใหญ่ขึ้น แล้วนำไปรีดลวดขนาดใหญ่แม่พิมพ์ที่หมดอายุจะมี 2 กรณีคือ กรณีแรกรูขยายจนใหญ่ที่สุดแล้ว และกรณีที่สองแม่พิมพ์แตกร้าว เครื่องที่ใช้ในการดึงลดขนาดนี้จะมีที่ติดตั้งแม่พิมพ์ และก่อนถึงแม่พิมพ์ลวดจะต้องผ่านผงที่เป็นสารหล่อลื่นด้วย เพื่อลดความฝืดระหว่างลวดและแม่พิมพ์ เมื่อลวดผ่านการดึงจากเครื่องแล้วก็จะเข้าเครื่องม้วนลวด (Coiler) คนงานจะเอาลวดที่ม้วนแล้วชั่งน้ำหนักและมัดตามที่กำหนด เพื่อรอส่งไปในขบวนการต่อไป

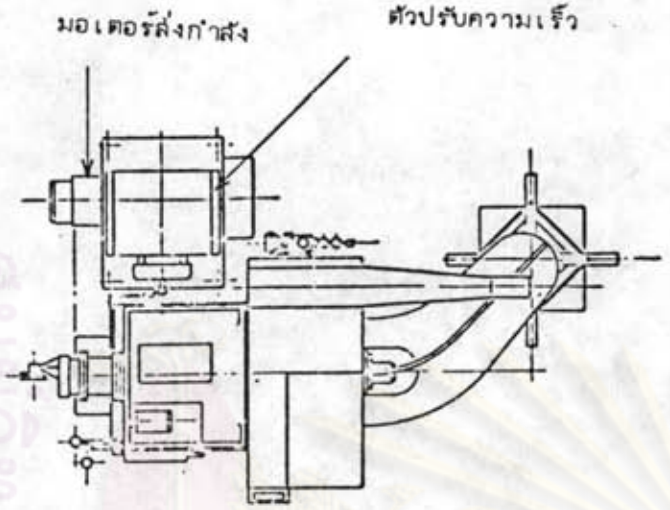
การดึงลดขนาดแต่ละครั้งนั้นมีขีดจำกัดดังได้กล่าวแล้วปกติ แต่ละครั้งลวดจะลดพื้นที่หน้าตัดได้มากที่สุดประมาณ 20-30% แต่เพื่อจะให้ได้ขนาดตามต้องการจึงต้องลดขนาดหลายครั้ง ในทางปฏิบัติขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่จะลดขนาดขึ้นอยู่กับขนาดเดิมด้วย ดังตารางที่ 3.1

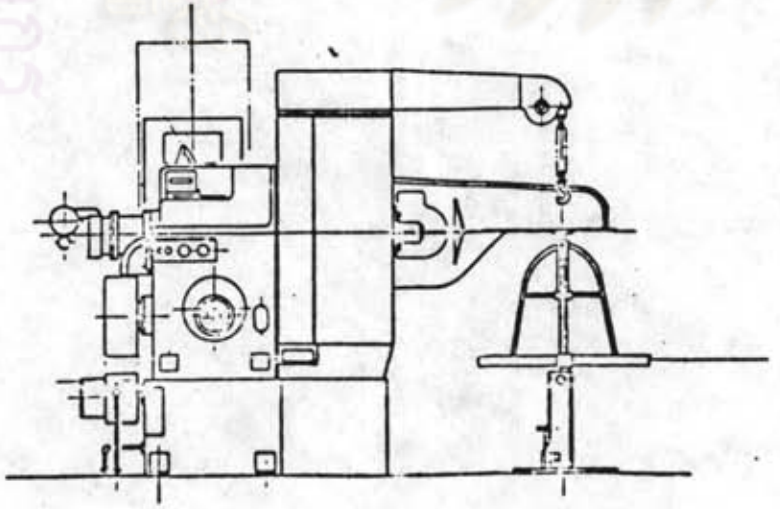
ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของลวดที่จะดึงลดขนาดได้

ขนาดของวัตถุดิบ D (ม.ม.)	ขนาดของลวดที่ลดขนาด d (ม.ม.)
6.0 - 2.7	$= \sqrt{0.75\ D^2} \sim \sqrt{0.7\ D^2}$
2.7 - 1.2	$= \sqrt{0.8\ D^2} \sim \sqrt{0.75\ D^2}$
1.2 - 0.8	$= \sqrt{0.85\ D^2} \sim \sqrt{0.8\ D^2}$
0.8 - 0.3	$= \sqrt{0.95\ D^2} \sim \sqrt{0.85\ D^2}$



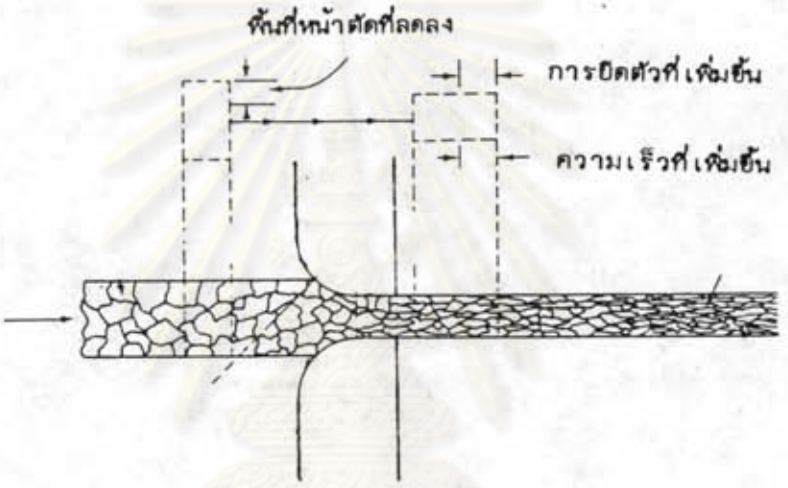
รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องดึงลดขนาดเหล็กเส้น


มอเตอร์ส่งกำลัง
ตัวปรับความเร็ว


ขารับม้วนลวด

3. การอบอ่อน

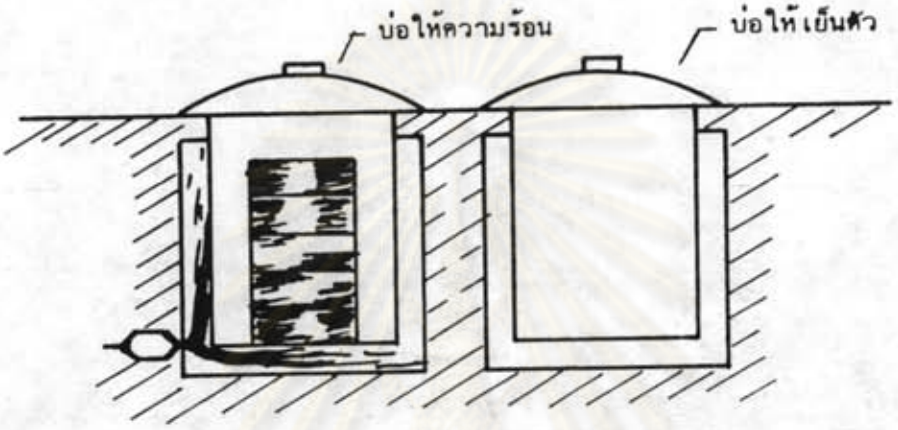
ขบวนการนี้เป็นวิธีการบำบัดต่อลวดที่ผ่านการรีดหรือดึง เพราะว่าโลหะเมื่อผ่านขบวนการขึ้นรูป โดยเฉพาะงานขึ้นรูปเย็น (Cold working Process) ด้วยแล้ว ชิ้นงานจะมีความเครียดภายในเนื้อมาก เพราะว่างานที่ผ่านขบวนการมาลักษณะเกรนภายในจะเสียรูป (บิดเบี้ยว) ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะเกรนภายในชิ้นงานรีด

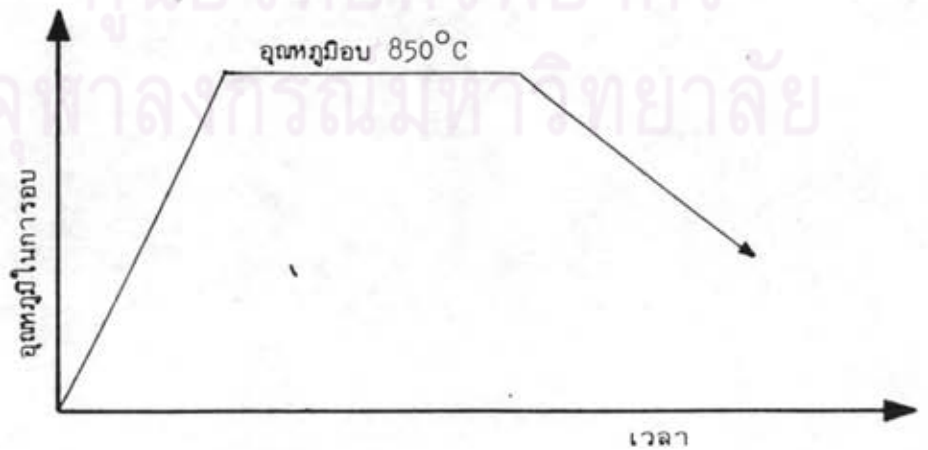
ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยทำให้เกรนโลหะกลับอยู่ในลักษณะปกติ ก็จะทำให้ความเครียดหมดไป ความเครียดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานนี้เองเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานแข็งขึ้น โดยเฉพาะลวดที่ผ่านการดึงลดขนาดมา ถ้ามีความเครียดสะสมอยู่จะทำให้ดึงขนาดไม่ได้มาก ถ้าเราไม่ลดความเครียดลง ดังนั้นถ้าผลิตภัณฑ์ของเราต้องการลวดขนาดเล็กขณะที่เราดึงลดขนาดแล้วบางครั้งต้องนำลวดมาอบบ้าง เพื่อให้ลดขนาดลงได้ หรือถ้าต้องการลวดที่อ่อนจะต้องอบเช่นเดียวกัน การอบอ่อน (Annealing) เป็นขบวนการที่ใช้ความร้อนกระทำให้โลหะอ่อนลง โดยอาศัยคุณสมบัติของเหล็กที่จะสามารถปรับโครงสร้างและเม็ดเกรนได้ง่ายและเร็วที่อุณหภูมิสูง ในงานของเราเป็นเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ (ไม่เกิน 0.006%C) ซึ่งเราใช้อุณหภูมิในการอบประมาณ $850^{\circ}C$ แต่ระยะเวลาในการอบขึ้นอยู่กับขนาดของลวดและปริมาณของการบรรจุลวดในถังอบ เมื่ออบจนได้อุณหภูมิและเวลาตามต้องการแล้วก็จะต้องปล่อยให้ชิ้นงาน (ลวดเหล็ก) เย็นตัวในเตา (เย็น

อย่างช้า ๆ) การเย็นตัวนี้สำคัญมากในการทำให้ลวดอ่อน ยิ่งเย็นช้าเท่าไรลวดยิ่งอ่อนมาก แต่ทว่าในทางปฏิบัติจะเป็นการเสียเวลาอย่างมากในขั้นตอนนี้ เราจึงทำบ่อที่จะให้เย็นตัวอีกต่างหาก กล่าวคือ มีบ่อให้ความร้อน (เตาอบ) และบ่อเย็นตัว ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะเตาอบอ่อน

ขบวนการอบอ่อนสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานได้ โดยใช้แผนภูมิแสดงขบวนการทำงานในรูปที่ 3.10 โดยปกติแต่ละครั้งของการอบอ่อน จะใช้เวลาประมาณ 8 ช.ม.



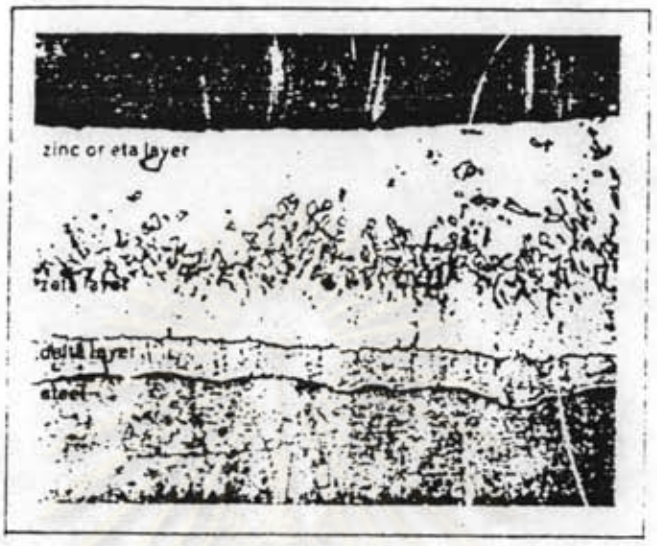
รูปที่ 3.10 แสดงขบวนการอบอ่อน

4. การชุบสังกะสี (The hot dip galvanizing Process)

ขบวนการนี้ทำเพื่อป้องกันเหล็กขึ้นสนิม สังกะสีมีบทบาทในการเคลือบป้องกันสนิมมาก เนื่องจากเหล็กเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวที่เรานำมาใช้มากที่สุด แต่ด้วยผลเสียของเหล็กซึ่งสามารถทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจนในอากาศแล้วเกิดเป็นสนิม ถึงแม้ว่าโลหะอื่น ๆ จะทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจน เช่นเดียวกับเหล็ก แต่ทว่าโลหะอื่นเมื่อทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจนในอากาศแล้วปฏิกริยานั้นก็จะหยุดลง เพราะว่า อ๊อกซิเจนไม่สามารถซึมเข้าไปทำปฏิกริยาได้อีก แต่ปฏิกริยาของเหล็กแตกต่างไปเพราะว่า เหล็กเมื่อทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจนแล้วมันก็ยังเกิดต่อไปอีกเรื่อย ๆ ด้วยเหตุผลสองประการ คือ ประการแรก สนิมของเหล็กมีลักษณะเป็นรูพรุน และประการที่สอง ในอากาศมีอ๊อกซิเจนที่พร้อมจะทำปฏิกริยากับเหล็กอยู่ จากทั้ง 2 ประการนี้ทำให้มนุษย์พยายามหาวิธีป้องกันการเกิดสนิมเหล็ก และการนำเหล็กชุบสังกะสีก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ เพราะว่าเมื่อชุบแล้วสามารถป้องกันความชื้น และอากาศทำปฏิกริยากับเหล็กได้ และสามารถป้องกันได้ตราบเท่าที่สังกะสียังเคลือบอยู่ ข้อดีของสังกะสีเหนือกว่าการทาสี หรือการชุบพลาสติกก็คือ เมื่อขึ้นงานเหล็กเคลือบสังกะสีเป็นรอยขีดข่วน ระหว่างเหล็กกับสังกะสี จะมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้ากัน ผลที่ได้คือสังกะสีจะเป็นตัวที่ผุกร่อนก่อนเหล็ก

อายุการใช้งานของเหล็กชุบสังกะสี ในสภาพบรรยากาศปกติสามารถอยู่ได้หลายปี แต่ในสภาพบรรยากาศของอุตสาหกรรมส่วนมาก อายุการใช้งานของเหล็กชุบสังกะสีมักจะขึ้นอยู่กับความหนาของการชุบ คุณค่าของการชุบจะขึ้นอยู่กับความหนา แต่ก็จะทำให้สิ้นค่าใช้จ่ายมาก ความหนาของการชุบเรามักจะวัดกันในลักษณะของ น้ำหนักต่อหน่วยของพื้นที่ผิว คือ ความหนาของการเคลือบสังกะสี 43 μm จะเท่ากับน้ำหนักสังกะสี 305 $g/_m2$ ในกรณีของการเคลือบด้านเดียว

การชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี จะเกิดปฏิกริยา 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเกิดเป็นโลหะผสมของเหล็กและสังกะสีอยู่บริเวณที่ผิวของชิ้นงานเกิดในลักษณะปฏิกริยาของเหล็กและสังกะสี และส่วนที่สอง เป็นผิวส่วนนอกซึ่งเป็นผิวของสังกะสีไม่ได้อยู่ในลักษณะโลหะผสม แต่ทั้งสองส่วนก็ช่วยต้านทานต่อการกัดกร่อน (corrosion) และมีผลต่ออายุการเคลือบ ผิวที่เป็นโลหะผสมนั้นจะแข็งและไม่เหนียว เท่ากับผิวที่เป็นสังกะสีบริสุทธิ์ ผิวที่เป็นโลหะผสมสามารถเห็นได้จากกล้องขยายดังรูปที่ 3.11.



รูปที่ 3.11 แสดงผิวเคลือบสังกะสีบนเหล็ก

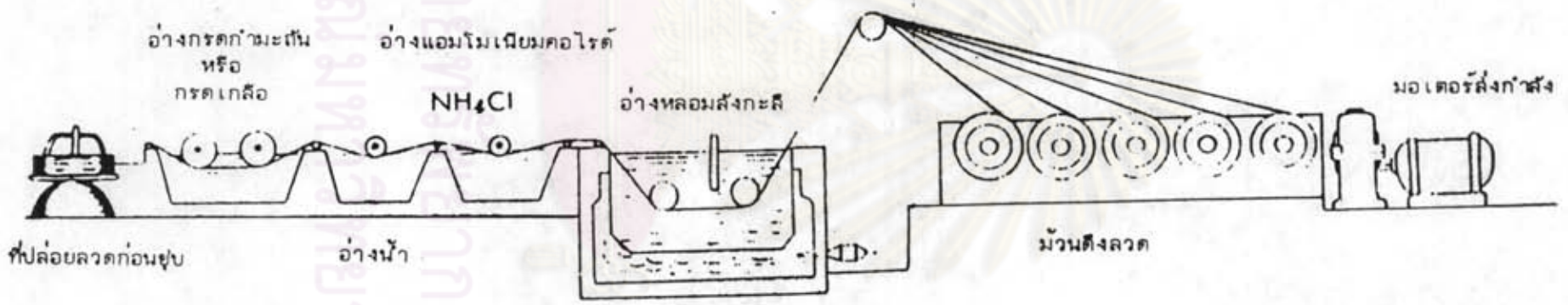
บริเวณที่เป็นโลหะผสมซึ่งอยู่ติดกับผิวเหล็ก เรียกว่า Delta phase ซึ่งประกอบด้วยเหล็ก 6-11% และโลหะผสมส่วนนอกเรียกว่า Zeta phase ประกอบด้วยเหล็ก 6% ความหนาของโลหะผสมที่กล่าวแล้วจะขึ้นอยู่กับ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

4.1. ซิลิกอนที่อยู่ในเหล็ก เหล็กที่มีซิลิกอนอยู่มากกว่า 0.3% ผิวเคลือบจะเป็นสีเทา ผิวสีเทาทั้งหมดจะเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและสังกะสี และเป็นรอยขีดข่วนได้ง่าย แต่เหล็กที่มีซิลิกอนน้อยผิวเคลือบก็จะเป็นสีขาว

4.2. ความหยาบของผิวเหล็ก ผิวของโลหะผสมที่เกิดขึ้นกับเหล็กนั้นจะมากขึ้นถ้าหากว่าชิ้นงานมีผิวหยาบ เนื่องจากว่าผิวที่หยาบจะมีพื้นที่ผิวที่จะทำปฏิกริยากับสังกะสีมากกว่าผิวละเอียด

4.3. อุณหภูมิของสังกะสีที่หลอมเหลว ปฏิกริยาของเหล็กและสังกะสีจะเกิดได้มากกว่าที่อุณหภูมิสูง ในทางปฏิบัติอุณหภูมิของอ่างหลอมสังกะสีประมาณ 450°C

4.4. เวลาในการจุ่ม เหล็กโดยทั่วไปที่ใช้ในการจุ่มสังกะสี ปฏิกริยาจะเกิดระหว่างสองนาทีแรกในอ่างสังกะสีเท่านั้น แต่ในช่วงท้าย ๆ ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นช้ามาก ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าปฏิกริยาระหว่างเหล็กและสังกะสีที่เกิดขึ้นก่อนเป็นตัวขัดขวางและป้องกันปฏิกริยาที่จะเกิดขึ้นกับเหล็กต่อไป



รูปที่ 3.12 แสดงขบวนการในการชุบเครือบสังกะสีบนลวด

4.5. อัตราการเย็นตัว ชั้นของโลหะผสมจะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปอย่างช้า ๆ ระหว่างที่งานเย็นตัวหลังจากการจุ่มแล้ว และจะเกิดขึ้นมากและนานถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่เพราะว่าความร้อนที่สะสมในชิ้นงาน และโลหะผสมที่เกิดขึ้นนี้เมื่อมาถึงผิวชิ้นงานจะทำให้ดูเป็นสีเทา แต่ปัญหานี้จะไม่เกิดกับการชุบลวดเหล็ก เนื่องจากลวดเหล็กมีขนาดเล็กทำให้การเย็นตัวเร็ว

ขบวนการในการชุบสังกะสี จะต้องเริ่มด้วยการทำความสะอาดชิ้นงาน โดยมากที่นิยมใช้คือ การจุ่มกรด (Pickling) โดยวิธีนี้สนิมเหล็กและสิ่งสกปรกจะหลุดออกไปด้วยการทำปฏิกริยากับกรด ตามธรรมดาเราจะใช้กรดเกลือ หรือกรดกำมะถันในการทำความสะอาด ที่นิยมใช้คือกรดเกลือ หลังจากจุ่มกรดแล้วก็จะต้องล้างน้ำเพื่อกำจัดกรดและหยุดปฏิกริยา ต่อจากนั้นก็จะชุบฟลัคซ์ (Flux) ในขั้นตอนนี้ทำให้ขบวนการชุบสังกะสีแบ่งออกเป็นสองแบบคือ การชุบสังกะสีแบบเปียก และแบบแห้ง (Wet and Dry Galvanizing) เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองวิธีแล้ว ข้อดีของวิธีชุบแบบแห้งก็คือ ได้ผลผลิตสูงทำให้เกิด Dross น้อย (Dross เป็นของเสียในขบวนการชุบสังกะสี) และบรรยากาศในการทำงานสะอาดกว่า ในทางกลับกัน วิธีชุบแบบเปียกใช้พื้นที่ในการทำงานน้อยกว่า

ขบวนการจุ่มแห้งทำได้โดยนำเหล็กที่จุ่มกรดล้างน้ำให้สะอาดแล้วชุบฟลัคซ์ ในกรณีนี้เราใช้ Zine ammonium chloride แล้วปล่อยให้แห้งต่อจากนั้นก็จะนำไปจุ่มในสังกะสีที่หลอมเหลวในทางตรงกันข้าม ขบวนการจุ่มเปียกชิ้นงานจะจุ่มฟลัคซ์แล้วจุ่มในอ่างสังกะสีเลย โดยฟลัคซ์จะลอยอยู่บนสังกะสีที่หลอมละลายในอ่าง หรือฟลัคซ์อาจจะถูกกันอยู่ด้านหนึ่งของอ่างเหนือสังกะสีก็ได้ หน้าที่ของผลัคซ์ที่สำคัญ คือ

1. ทำความสะอาดผิวของงานและสังกะสีที่หลอมละลายซึ่งจะทำปฏิกริยากัน
2. ลดอันตรายจากการกระเด็นเมื่องานเปียกดังนั้นจึงไม่ต้องรอให้งานแห้ง
3. ช่วยรูดชิ้นงานตอนที่ยกชิ้นงานขึ้น ทำให้ผิวเคลือบของชิ้นงานบาง
4. ลดการเกิดอ๊อกไซด์ (Oxidation) ที่ผิวหน้าของอ่างสังกะสีและเป็นการลด Ash (ของเสียที่ลอยอยู่บนอ่างสังกะสี)
5. ป้องกันการไหม้หรือความร้อนสูงเกินเมื่อจุ่มชิ้นงานที่ใหญ่หรือระหว่างการชุบหลายครั้ง
6. ลดการบิดงอโดยให้ความร้อนกับชิ้นงาน โดยเฉพาะโลหะแผ่นบาง

ถ้าชิ้นงานเตรียมมาดีทำความสะอาดดีคุณภาพของการเคลือบจะขึ้นอยู่กับ

1. คุณภาพของสังกะสี
2. อุณหภูมิของสังกะสีที่หลอมเหลว
3. เวลาในการจุ่ม

1. คุณภาพของสังกะสี โดยทั่วไปสังกะสีจะประกอบด้วยตะกั่วประมาณ 1% โดยมากอ่างสังกะสีก็จะมีตะกั่วอยู่ด้านล่างเพื่อช่วยเกิด Dross สังกะสีที่ใช้จะต้องไม่มีเหล็กในสังกะสีบริสุทธิ์จะมีเหล็กนอ้ยมากประมาณ 0.05% ซึ่งถ้ามีเหล็กอยู่มากมันจะไปจับตัวสังกะสี 25 เท่าเป็น Dross โดยปกติแล้วเราจะไม่พบอลูมิเนียมในสังกะสีบริสุทธิ์ การเพิ่มอลูมิเนียมไปในสังกะสีประมาณ 0.005% หรือ 50 g ต่อสังกะสีหนึ่งตัน ซึ่งจะมีผลทำให้ลดการเกิดอ๊อกไซด์ ซึ่งลดการสูญเสียสังกะสีและทำให้ผิวชิ้นงานสวย การที่มีอลูมิเนียมทำให้ปฏิกริยาระหว่างเหล็กและสังกะสีลดน้อยลง และถ้าอลูมิเนียมมีถึง 0.03% จะทำให้เกิดจุดดำบนผิวงานซึ่งเป็นผลจากการที่สังกะสีไม่ทำปฏิกริยากับผิวงาน

2. อุณหภูมิของสังกะสีที่หลอมเหลว ในทางปฏิบัติอุณหภูมิของอ่างสังกะสีควรให้ต่ำที่สุด เพราะว่าอุณหภูมิต่ำจะทำให้การเกิด Ash และ Dross ลดลง จำนวนของการเกิด Dross จากการจุ่มเหล็ก 30 วินาที ในอ่างสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิของอ่างสังกะสีเพิ่มจาก $450^{\circ}C$ เป็น $470^{\circ}C$ จากประสพการณ์พบว่างานสามารถที่จะทำได้ที่อุณหภูมิ $445^{\circ}C$ - $465^{\circ}C$ โดยปกติเราจะทำงานที่อุณหภูมิ $450^{\circ}C$

3. เวลาในการจุ่ม โดยทั่วไปผิวเคลือบของสังกะสีจะต้องหนาพอสำหรับการใช้งาน ปฏิกริยาระหว่างผิวเหล็กและสังกะสีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ในหนึ่งถึงสองนาทีแรก หลังจากนั้นอัตราการทำปฏิกริยาจะช้ามาก อัตราการลากขึ้นงานจำทำให้ได้ความหนาของผิวชุบต่างกัน อัตราที่ดีที่สุดประมาณ 1.5 $m/_{min}$ ถ้าอัตราการลากเร็วเกินไปจะทำให้ผิวเคลือบไม่เรียบเกิดการหยด

ในการชุบเคลือบด้วยสังกะสี จะเกิดการสูญเสียสังกะสีในรูปของ Dross และ Ash ซึ่งสังกะสีที่ใช้ไปจริง ๆ จะประมาณ 20-60% ของสังกะสีทั้งหมดเท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับงาน ขบวนการและความระมัดระวังในการทำงาน

Dross ประกอบด้วยสังกะสี 96% และเหล็ก 4% ในอุณหภูมิของอ่างชุบมันจะมีลักษณะเป็นของหนืด ซึ่งเกิดได้หลายสาเหตุด้วยกัน คือ

1. จากเกลือเหล็ก (Iron salts) ซึ่งเกิดจากการทำความสะอาดงานด้วยกรด เกลือนี้จะเคลือบอยู่บนผิวเหล็กและจะทำปฏิกริยากับสังกะสีในรูปของ Dross

2. จากปฏิกริยาระหว่างฟลักซ์และชิ้นงาน ซึ่งทำให้เกิดเกลือเหล็กแล้วทำปฏิกริยากับสังกะสี

3. จากปฏิกริยาโดยตรงระหว่างสังกะสีที่หลอมเหลว และชิ้นงานที่จะชุบเคลือบผิว สิ่งที่สำคัญในกรณีนี้คือ อุณหภูมิของสังกะสี เวลาในการจุ่มและความหยาบของผิวงาน

4. จากปฏิกริยาของสังกะสีและอ่างเหล็ก

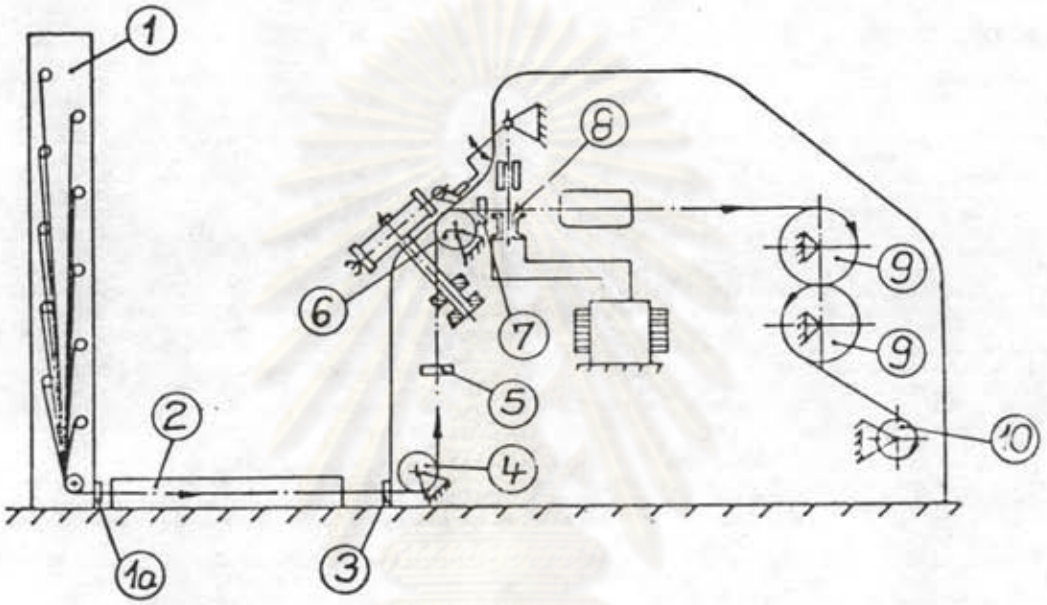
5. ปฏิกริยาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานในอ่างสังกะสี

Ash จะมีน้ำหนักเบาลอยอยู่เหนือสังกะสีที่หลอมละลาย Zinc ash จะประกอบด้วยสังกะสีอ๊อกไซด์และเนื้อสังกะสี ซึ่งมีเนื้อสังกะสีประมาณ 80% Ash ทั้งหมดจะกระจายอยู่บนสังกะสีที่หลอมเหลวซึ่งเป็นผลจากสังกะสีทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจนในอากาศ เมื่อเราพยายามปาดออกก็จะทำให้เนื้อสังกะสีรวมมาด้วย ดังนั้นการเอา Ash ออกจึงต้องระมัดระวัง ในขบวนการจุ่มเบียกเราจะลดสังกะสีอ๊อกไซดีได้จากฟลักซ์ที่คลุมอยู่บนผิวอ่างสังกะสีเหลว และการเติมอลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยประมาณ 50 กรัม ในสังกะสีหนึ่งตันสามารถป้องกันผิวของอ่างทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจนได้ รวมทั้งการลดอุณหภูมิทำงานด้วย

5. ขบวนการทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากลวดเหล็กนั้นมีอยู่มาก เช่น ตาปู ลวดเย็บกระดาษ ลวดหนาม ตาข่าย ลวดเชื่อม เป็นต้น ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกันก็ที่เครื่องจักรเท่านั้น ในโรงงานตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ลวดเหล็กทั้งที่ชุบสังกะสีและที่ไม่ชุบ ลวดหนาม และลวดตาข่าย ที่สำคัญก็คือตาข่ายซึ่งมีหลายลักษณะ หลายชนิด เนื่องจากตาข่ายจะต้องชุบสังกะสี เราสามารถทำได้จากการนำลวดที่ชุบสังกะสีมาทำหรือโดยการใช้ลวดธรรมดาที่อบอ่อน แล้วมาทำตาข่ายก่อนแล้วจึงนำไปชุบก็ได้

I 16748856



รูปที่ 3.13 แสดงหลักการทำงานของเครื่องทำตาข่ายสี่เหลี่ยม

1. ร้านปล่อยลวดตามยาว
2. เส้นลวดตามยาว
3. หวีจัดลวด
4. เพลารั้งลวด
5. สวิทช์ตรวจสอบลวด
6. เพลารั้งลวด
7. หวีจัดลวด
8. พิมพ์อาร์คลวด
9. เพลาล้อยาง
10. เพลาม้วนตาข่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลิตภัณฑ์จากโรงงานตัวอย่างมีหลายชนิด คือ

5.1. ตาข่ายหกเหลี่ยม (Hexagonal Wire Netting) ทำโดยการเอาลวดเหล็กที่ผ่านการอบอ่อน (Anneal Iron Wire) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.42 ถึง 0.75 ม.ม. มาเข้าเครื่องทอตาข่ายหกเหลี่ยม แต่ลวดที่จะเข้าเครื่องทอตาข่ายได้จะต้องกรอเป็นหลอดและเป็นสปริงเสียก่อน จึงต้องเอาลวดที่อบอ่อนแล้วนี้มาเข้าเครื่องกรอหลอดที่มีลักษณะคล้ายหลอดด้ายที่มีขนาดใหญ่ ลวดที่กรอแล้วส่วนหนึ่งนำไปกรอสปริง ลวดที่กรอเข้าหลอดและกรอเป็นสปริงแล้ว เข้าเครื่องทอเป็นตาข่ายได้เลยตาข่ายที่ทอแล้วจะทำการม้วนเก็บเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อนำไปชุบสังกะสีต่อไป

ตาข่ายที่จะทำการชุบสังกะสีนั้น ส่วนใหญ่แล้วกรรมวิธีเหมือนกับการชุบสังกะสีลวดเหล็กมีที่ต่างกันเล็กน้อยคือ จะต้องต้มใน Ridoline เนื่องจากตาข่ายที่ได้จากเครื่องทอตาข่ายจะมีคราบน้ำมันติดอยู่ จึงจำเป็นต้องขจัดน้ำมันออกโดยการต้มในน้ำผสม Ridoline อุณหภูมิประมาณ 70-80°C หลังจากต้มตนหมดคราบน้ำมันแล้วจึงนำไปล้างน้ำทำความสะอาดอีกครั้ง ต่อจากนั้นจึงจุ่มกรดเกลือที่ความเข้มข้นประมาณ 15% แล้วล้างทำความสะอาด จากนั้นก็สามารถนำชุบในอ่างสังกะสีได้เลย

5.2. ลวดอาบสังกะสี (Iron Wire Galvanize) เป็นการนำลวดดำที่ผ่านการอบอ่อนแล้วมาทำการชุบเคลือบสังกะสีโดยวิธีจุ่มร้อน (Hot Dip Galvanize) โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำลวดดำมาล้างด้วยกรดเกลือ 15% นานประมาณ 5-15 นาที แล้วนำไปล้างน้ำจากบ่อ 2 บ่อ ซึ่งอยู่ติดกัน น้ำจะเข้าบ่อที่ 1. แล้วไหลไปบ่อที่ 2. การล้างจะล้างในบ่อที่สองก่อนแล้วนำไปล้างให้สะอาดในบ่อที่ 1. อีกครั้งแล้วนำไปจุ่มในอ่าง Sodium Cyanide เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิมในระหว่างการชุบ ต่อจากนั้นก็จะนำไปเข้าขบวนการชุบสังกะสี โดยเส้นลวดที่ออกจากที่ปล่อยลวดจะผ่านบ่อกรดเกลือ 15% อีกครั้ง จากนั้นจะผ่านลงบ่อน้ำทำความสะอาดกรดแล้วจึงลงสู่อ่างชุบสังกะสีที่ได้รับความร้อนจากน้ำมันเตาอุณหภูมิของสังกะสีประมาณ 450-480°C อ่างชุบจะมีการแบ่งเป็น 3 ส่วน โดยด้านล่างเป็นตะกั่ว ด้านบนช่องแรกเป็น Flux ในการนี้เราใช้ Zine Ammoniumchloride ช่องที่สองเป็นตะกั่ว และช่องสุดท้ายเป็นสังกะสี ลวดจะผ่านช่องแรกแล้วไปขึ้นในช่องสุดท้ายเข้าสู่เครื่องม้วนต่อไป ซึ่งสามารถนำไปขายหรือนำไปทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้

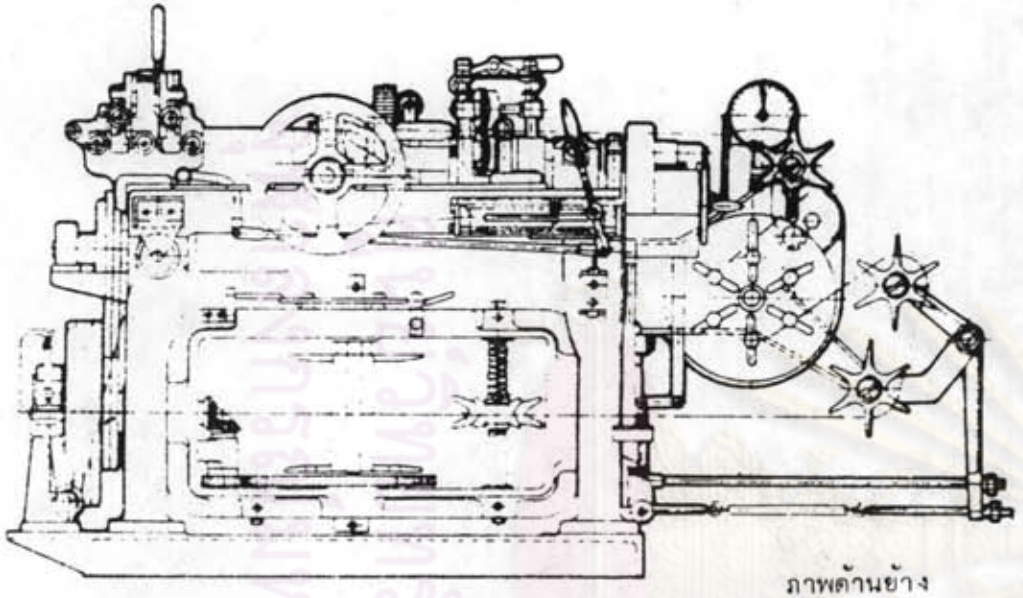
5.3. ตาข่ายสี่เหลี่ยม (Weld Wire Mesh) ทำโดยการนำลวดมาวางทับกันแล้วเชื่อมให้ติดกันเป็นตาข่ายมีสองลักษณะคือ เชื่อมก่อนแล้วนำไปชุบสังกะสีและ แบบนำลวดชุบ

สังกะสีมาเชื่อมเป็นรูปตาข่ายก็ได้ ตาข่ายลักษณะนี้ประกอบขึ้นด้วยลวดเหล็ก 2 เส้น คือ ลวดตามยาวและ ลวดตามแนวขวาง (Longitudinal wire and Transvere wire) ความยาวของตาข่ายก็คือความยาวของ Longitudinal wire

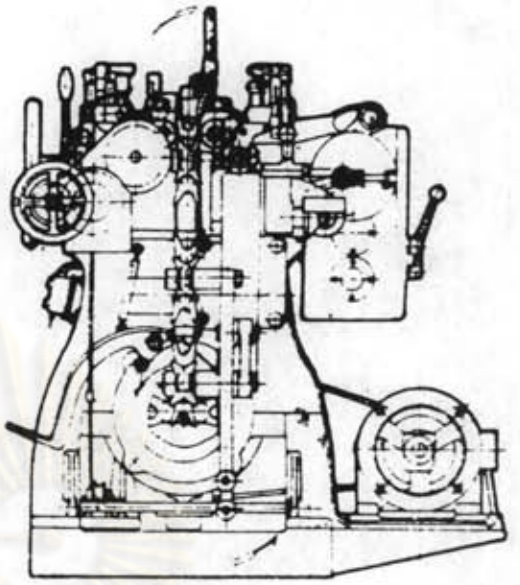
5.4. ตาข่ายเทพื้น (Concrete Reinforcement) ใช้สำหรับเทพื้นคอนกรีต เช่น ถนน หลักการผลิตคล้ายกับตาข่ายสี่เหลี่ยมแต่ใช้ลวดที่ไม่ผ่านการอบและมีขนาดใหญ่กว่า การทำก็จะทำเป็นผืนเลยไม่เป็นม้วน ลวดเส้นใหญ่ที่จะทำจะต้องเข้าเครื่องดัดให้ตรงสำหรับลวดขวางและดัดให้ได้ความยาวตามต้องการ แต่ลวดเส้นยาวนั้นในเครื่องทำตาข่ายจะมีที่ดัดอยู่แล้วนั่นคือดัดไปทอไปเลย การต่อก็ใช้การเชื่อมเป็นจุดเช่นเดียวกัน และตาข่ายที่ผ่านการทำแล้วจะถูกดัดให้ได้ความยาวตามต้องการเลย

5.5. ลวดหนาม (Barbed Wire) ลวดหนามเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่ง ที่ลวดชุบสังกะสีแล้วมาเป็นวัตถุดิบ การทำลวดหนามไม่มีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากนัก เพราะอาศัยเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวก็สามารถทำการผลิตได้ โดยเครื่องทำลวดหนามเมื่อนำลวดชุบสังกะสีมาก็เป็นลวดหนามแล้ว เครื่องก็จะม้วนลวดหนามให้เป็นม้วนเลย โดยสามารถตั้งให้ได้ความยาวตามต้องการได้ โรงงานตัวอย่างมีเครื่องทำลวดหนามอยู่ 4 เครื่อง และใช้คนงาน 2 คนในการควบคุม รูปที่ 3.14 แสดงภาพเครื่องทำลวดหนาม

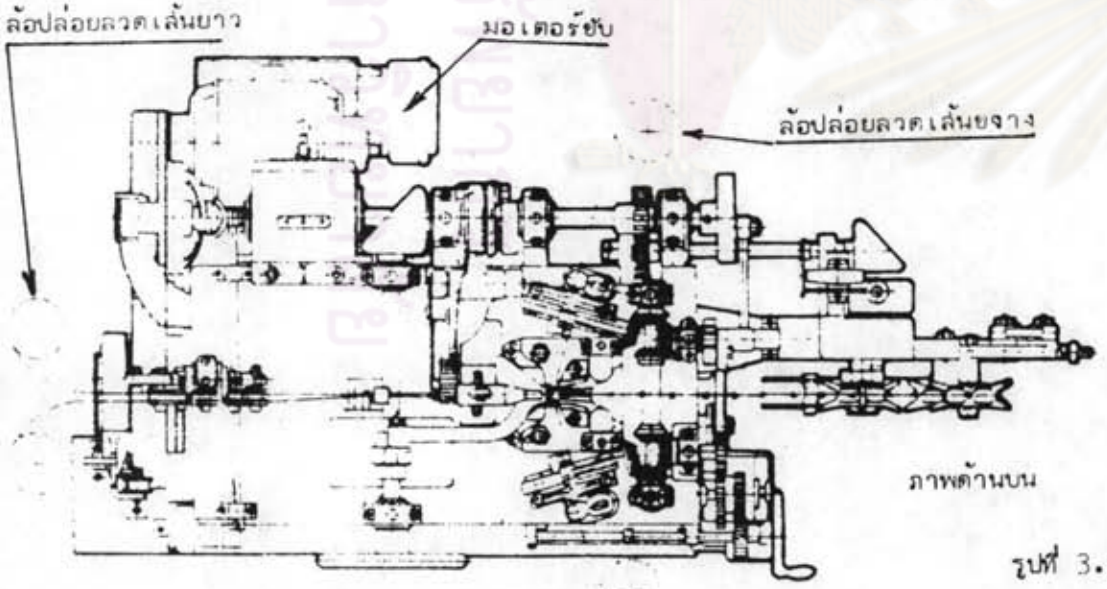
5.6. ลวดเหล็ก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือลวดเหล็ก (Iron Wire) และลวดดำ (Anneal Iron Wire) ทั้งสองชนิดเป็นลวดที่ไม่ได้ชุบสังกะสีเช่นเดียวกัน ที่แตกต่างกันก็ที่ความแข็ง เนื่องจากลวดเหล็กเป็นลวดที่ผ่านการดึงลดขนาดมา ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น และผิวของลวดจะมีสีขาวเป็นเงา แต่ลวดดำได้จากการนำลวดเหล็กดังกล่าวมาอบเพื่อให้ความแข็งลดลงทำให้ผิวของลวดมีสีดำเราจึงเรียกว่า ลวดดำ ซึ่งเรามักจะพบเห็นก็ลวดที่ใช้ในการผูกเหล็กในงานก่อสร้าง



ภาพด้านข้าง



ภาพด้านหน้า



ภาพด้านบน

รูปที่ 3.14 แสดงภาพของเครื่องทำลวดหนาม