

## การเกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมเกรด ADC12 ในระหว่างการจัดเก็บ และแนวทางการป้องกัน

นิรมิตร มั่นวงษ์ วิบูลย์ ตังวโรตมณกุล\* และ ศุภฤกษ์ บุญเทียร

### บทคัดย่อ

การเกิดออกซิเดชันบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมในระหว่างการจัดเก็บในกล่องกระดาษทำให้เกิดรอยตำหนิขึ้นบนผิวชิ้นงานและส่งผลกระทบต่อสภาพผิวและความสวยงามของชิ้นงานอลูมิเนียมที่ได้ ปัญหาดังกล่าวทำให้บริษัทต้องเปลี่ยนสินค้าใหม่ให้ลูกค้าและก่อให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้พิจารณาอลูมิเนียมเกรด ADC12 ที่ได้จากการหล่อฉีด เป็นวัสดุทดสอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในระหว่างการจัดเก็บที่ทำให้เกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมเกรด ADC12 และนำเสนอแนวทางในการป้องกันการเกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานในระหว่างการจัดเก็บหรือจัดส่งในกล่องกระดาษ จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมประกอบด้วย ความชื้น ชนิดบรรจุภัณฑ์ และเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง เพื่อลดโอกาสในการเกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม งานวิจัยนี้จึงได้มีการหาปริมาณการใช้สารดูดความชื้นต่อปริมาตรกล่องบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดออกซิเดชันบนผิวชิ้นงาน ผลการศึกษาพบว่า ในระดับความชื้นที่ 80 % การใช้สารดูดความชื้นอย่างน้อย 6.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถยืดอายุการเก็บชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม ADC12 ในระหว่างการจัดส่งได้ 13 วัน และสามารถลดการเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานได้ 55.25 % เมื่อเทียบกับปริมาณตำหนิที่พบบนผิวชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

คำสำคัญ : การจัดเก็บ, การหล่อฉีด, ตำหนิ, อลูมิเนียม, ออกซิเดชัน

---

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: viboon.tan@kmutt.ac.th รับเมื่อ 16 กันยายน 2560 ตอบรับเมื่อ 10 เมษายน 2561

## Defect Formation in Work Surface of ADC12 Aluminum during Storage and a Preventive Guideline

Neeramitr Munwong Viboon Tangwarodomnukun\* and Supparerk Boontein

### Abstract

Surface oxidation of aluminum occurred during being stored in a cardboard box leads to the substantial defects in workpiece surface and directly affects the surface characteristics and aesthetic of aluminum products. This problem causes a number of reclaimed products so as increased manufacturing costs of a case study company. This research aims at considering an ADC12 aluminum product manufactured by die casting process. The objectives of this research are to understand the effect of storing factors on defect formation in ADC12 aluminum and to prevent the defects during the storing or delivering of aluminum products in a cardboard box. According to a preliminary study, the major factors were humidity, type of packaging materials and delivery time. To minimize the defects in aluminum, this research determined a suitable amount of desiccant per volume of container to retard the surface oxidation, and the desiccant of  $6.57 \text{ mg/cm}^3$  was recommended to be applied into the packaging stored in 80% humidity. This can prolong the aluminum workpieces kept in storage during the shipment for 13 days. Regarding this finding, the defect on aluminum workpieces can be reduced by 55.25% from that found before this prevention.

Keywords : Aluminum, Defect, Die casting, Oxidation, Storage

---

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

\* Corresponding author, E-mail: viboon.tan@kmutt.ac.th Received 16 September 2017, Accepted 10 April 2018

## 1. บทนำ

ชิ้นงานที่ผลิตจากวัสดุอลูมิเนียม มักพบตำหนิจากการกัดกร่อนและการเกิดออกซิเดชันภายหลังการผลิตหรือระหว่างการใช้งาน ตำหนิเหล่านี้มักเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่เป็นสารละลาย หรือสภาวะที่มีความชื้นในบรรยากาศโดยรอบชิ้นงานสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสิ่งแวดล้อมกับผิวชิ้นงาน ส่งผลให้ผิวชิ้นงานขาดความเงางาม และอาจมีสมบัติของวัสดุบริเวณตำหนิที่เปลี่ยนแปลงไป จากการสำรวจบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งพบว่า ชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 ที่ได้จากการหล่อฉีด พบปัญหา เรื่องการเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน โดยรอยตำหนิที่เกิดขึ้นนั้นมักพบภายหลังจากการจัดส่งชิ้นงานให้ลูกค้า ซึ่งชิ้นงานถูกบรรจุอยู่ในกล่องกระดาษเป็นระยะเวลาหนึ่ง การเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมชิ้นดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนในการผลิตของบริษัทเนื่องจากต้องทำการเปลี่ยนชิ้นงานใหม่ให้กับลูกค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การศึกษาพฤติกรรมและการเกิดของตำหนิของอลูมิเนียม ADC12 ในระหว่างการจัดเก็บ และนำเสนอแนวทางในการป้องกันการเกิดตำหนิเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับสินค้าอลูมิเนียม ADC12 และต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนสินค้าจากลูกค้า

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมเป็น โลหะที่มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กประมาณ 3 เท่า (Density of Aluminum = 2.7 g/cm<sup>3</sup>, Density of Iron = 7.8 g/cm<sup>3</sup>) และมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เป็นที่นิยมนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากอลูมิเนียมมีความเหนียวสูง อุณหภูมิ

หลอมเหลวต่ำ และมีสมบัติทางด้านการหล่อหลอมที่ดี สามารถรวมตัวกับโลหะชนิดอื่นหรือเกิดเป็นโลหะผสมได้ง่าย [1-4]

โลหะผสมอลูมิเนียมโดยทั่วไปมักพัฒนามาจากระบบยูเทคติก (Eutectic System) ของ 2 ธาตุ เช่น โลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิคอน (Al-Si) อลูมิเนียม-ทองแดง (Al-Cu) และอลูมิเนียม-แมกนีเซียม (Al-Mg) แต่ทั้งนี้โลหะที่ใช้ในงานหล่อส่วนใหญ่มักพัฒนามาจากระบบอลูมิเนียม-ซิลิคอน รวมถึงเกรด ADC12 ซึ่งโดยลักษณะทั่วไปมีลักษณะผิวมันวาว มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเนื่องจากมีความสามารถในการสร้างฟิล์มออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ได้ตามธรรมชาติ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถขึ้นรูปทางกลได้ง่าย เนื่องจากมีโครงสร้างผลึกแบบ Face Center Cubic (FCC) และมีสมบัติทางการไหลตัว (Fluidity) ที่ดี [5-7] ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาโลหะผสมอลูมิเนียมเกรด ADC12 โดยชิ้นงานที่ทำการศึกษาได้จากกระบวนการหล่อฉีด (Die casting process)

### 2.2 กระบวนการหล่อฉีด

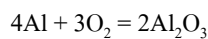
การหล่อฉีด (Die Casting) หมายถึง การขึ้นรูปโลหะด้วยกระบวนการทางความร้อนที่เปลี่ยนสถานะโลหะในรูปของแข็งให้เป็นโลหะเหลวโดยการควบคุมอุณหภูมิการหลอม และทำการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนก่อนทำการฉีดน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อ เมื่อโลหะแข็งตัวก็จะได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามแบบหล่อ จากนั้นนำชิ้นงานมาตกแต่งเพื่อตัดทางเดินน้ำโลหะออกก่อนที่จะทำการกลึง เจาะ โลหะให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ

สำหรับกระบวนการหล่อฉีด สามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวนมากและต่อเนื่อง โดยขั้นตอนการหล่อฉีดจะใช้เวลาต้นประมาณ 0.15-0.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์-

เซนติเมตร และความเร็วในการเพิ่มแรงดัน 0.025-0.060 กิโลเมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตรวินาที [8] ในการดันน้ำโลหะเข้าแม่พิมพ์

2.3 การเกิดออกซิเดชัน

ภายหลังการแข็งตัวของโลหะสัมผัสกับบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง ผิวของโลหะจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและก่อให้เกิดสารประกอบต่างๆ เช่น ออกไซด์ ซัลไฟด์ คาร์ไบด์ และอื่นๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการออกซิเดชัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันไอ ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของอลูมิเนียม สามารถแสดงได้ดังสมการ [9]

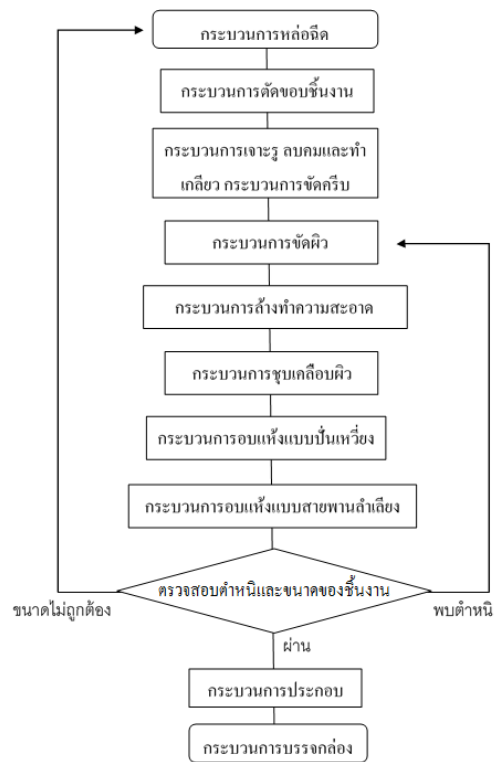


Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เป็นฟิล์มอลูมิเนียมออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นมาปกคลุมที่ผิวหน้าอลูมิเนียม ความหนาของฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม และปริมาณธาตุผสมในโลหะ หากฟิล์มออกไซด์นี้เกิดความเสียหาย ย่อมทำให้ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของอลูมิเนียมลดลง นอกจากนี้ หากผิวอลูมิเนียมสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีองค์ประกอบทางเคมีและสภาพที่ต่างออกไปจากบรรยากาศปกติก็อาจก่อให้เกิดรอยตำหนิหรือคราบเกิดขึ้นบนผิวอลูมิเนียมได้เช่นเดียวกัน ลักษณะเช่นนี้ส่งผลต่อสภาพผิวและความสวยงามของผิวอลูมิเนียมที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.4 การลดปริมาณความชื้นด้วยซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (Silica Gel) เป็นสารสังเคราะห์ในรูปแบบซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) สกัดจาก

ทรายขาว ผสมกรดกำมะถัน และมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีรูพรุน ทำให้ มีพื้นที่ผิวในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมากประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม หรือประมาณ 40% ของ น้ำหนักตัวเอง มีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นจะลดลงและมีโอกาสที่จะคายความชื้นออกจากตัวเองเช่นกัน [10]



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนอลูมิเนียม

3. สภาพปัจจุบันและการวิเคราะห์ปัญหา

อลูมิเนียมที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นอลูมิเนียมเกรด ADC12 โดยชิ้นงานอลูมิเนียมที่นำมาทดสอบได้จากกระบวนการหล่อฉีด โดยลักษณะของชิ้นงานเป็น

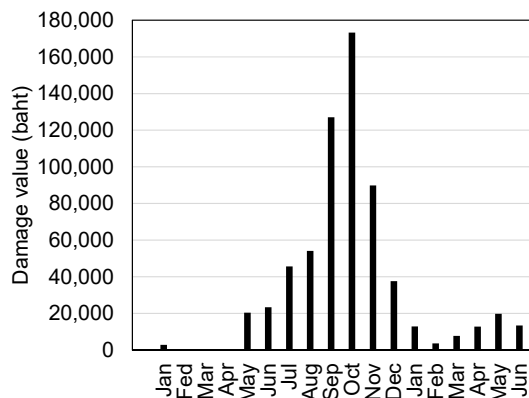
จากสามเหลี่ยมสำหรับใช้ประกอบกับโครงอลูมิเนียม ขั้นตอนการผลิตชิ้นงานอลูมิเนียมนี้มีลำดับดังแสดงในรูปที่ 1 จากรูปพบว่า ภายหลังจากหล่อฉีด ชิ้นงานจะถูกนำมาผ่านขั้นตอนการขัดผิวด้วยเม็ดหินเบอร์ 15 หรือ 20 ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ และทำให้แห้ง ก่อนนำไปประกอบและบรรจุลงกล่องต่อไป อย่างไรก็ตาม หากตรวจพบชิ้นงานที่มีขนาดไม่ได้ตามต้องการหรือพบตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงาน ชิ้นงานชิ้นนั้นๆ จะถูกคัดแยกออก

ภายหลังจากกระบวนการหล่อฉีด ชิ้นงานอลูมิเนียมมีการตรวจพบปัญหาทั้งในระหว่างการจัดเก็บและภายหลังจากจัดส่งแก่ลูกค้า โดยขั้นตอนดังกล่าวใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานอยู่ที่ 13 วัน โดยประมาณ จากการตรวจสอบสภาพปัญหาพบว่าชิ้นงานที่บรรจุในกล่อง เกิดความเสียหายบริเวณพื้นผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับบรรจุภัณฑ์เท่านั้น ใน 1 กล่อง ทำการบรรจุชิ้นงานเรียงต่อกันและซ้อนกันจำนวน 2 ชั้น โดยมีแผ่นกระดาษวางกั้นระหว่างชิ้นงาน รอยตำหนิของผิวชิ้นงานมักเกิดขึ้นบริเวณที่ผิวชิ้นงานสัมผัสกระดาษบรรจุภัณฑ์แสดงในรูปที่ 2 ตำหนิเช่นนี้มักพบในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ทำการจัดเก็บในคลังสินค้าและกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการจัดส่งแก่ลูกค้าไปแล้ว



รูปที่ 2 ลักษณะตำหนิบนผิวชิ้นงาน

จากการตรวจสอบจำนวนชิ้นงานที่พบตำหนิ ดังกล่าวในรอบ 18 เดือน พบว่าในช่วงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของปี ซึ่งเป็นช่วงที่มีความชื้นในอากาศสูง ดังแสดงในรูปที่ 3 จึงมีความเป็นไปได้ว่าความชื้นในอากาศอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้กล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษมีความชื้นสูงและอาจนำไปสู่การเพิ่มโอกาสในการเกิดรอยตำหนิขึ้นบนผิวชิ้นงาน



รูปที่ 3 มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากปัญหาการรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานในแต่ละเดือน

เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานพบว่ารอยตำหนิมักเกิดบริเวณที่ผิวชิ้นงานเกิดการสัมผัสกับผิวกล่องกระดาษ สิ่งที่เกิดขึ้นอาจเป็นไปได้ว่าสภาพแวดล้อม ในการจัดเก็บ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น รวมถึงชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้การจัดเก็บชิ้นงาน ส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผิวชิ้นงาน

เพื่อเป็นการยืนยันถึงผลกระทบของระดับความชื้นในบรรยากาศและชนิดบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสกับผิวชิ้นงาน ต่อปริมาณตำหนิที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเบื้องต้น โดยทำการห่อชิ้นงานเป็น 3 รูปแบบ คือ (1)

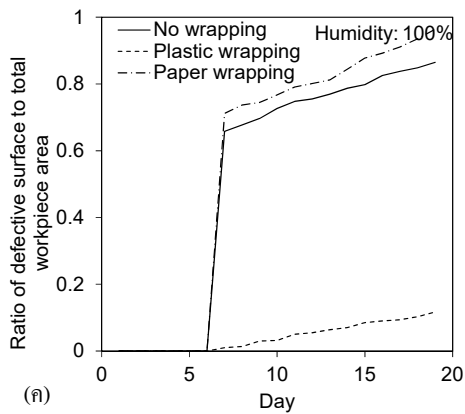
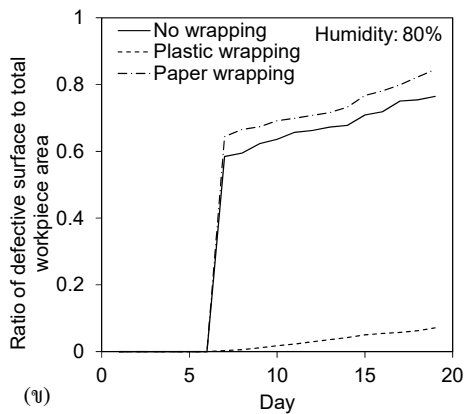
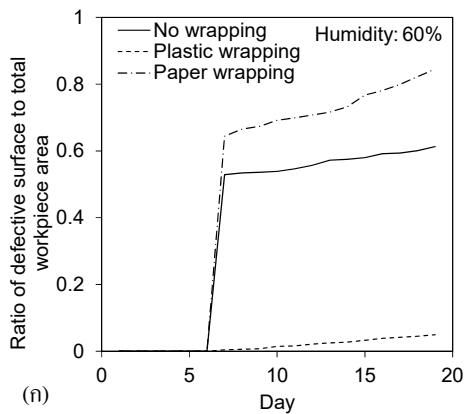
ห่อด้วยกระดาษชนิด KA (SOS) ขนาด 125 แกรม ซึ่งเป็นกระดาษชนิดเดียวกับที่ใช้ในการห่อชิ้นงานในบริษัทกรณีศึกษา (2) การห่อด้วยพลาสติกชนิด PE (Polyethylene) หนา 0.07 มิลลิเมตร และ (3) ชิ้นงานที่ไม่ได้ถูกห่อด้วยวัสดุใดๆ ในขณะที่เดียวกันได้กำหนดระดับความชื้นในบรรยากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์) ที่ใช้ในการทดสอบที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 60 80 และ 100% โดยควบคุมอุณหภูมิในการจัดเก็บในช่วง 28 – 32°C ในการทดสอบนี้ได้ทำการบันทึกค่าความชื้นและอุณหภูมิภายในบริเวณจัดเก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 19 วัน ผลการทดลองที่ได้พบว่า การจัดเก็บชิ้นงานที่มีสถานะการจัดเก็บต่างกันก่อให้เกิดปริมาณของรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 ต่างกัน โดยชิ้นงานที่บรรจุในกระดาษกระดาษชนิด KA (SOS) พบว่าเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานในปริมาณที่มากและมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อจัดเก็บชิ้นงานภายใต้ระดับความชื้นสูงและระยะเวลาในการจัดเก็บที่นานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4 นอกจากนี้ ผลการทดลองเบื้องต้นที่ได้ยังสามารถสังเกตได้ว่า อัตราส่วนของรอยตำหนิต่อพื้นที่ผิวชิ้นงานในกรณีของการจัดเก็บด้วยวิธีการห่อกระดาษกระดาษชนิด KA (SOS) มีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่มีการห่อชิ้นงาน ลักษณะเช่นนี้น่าจะเกิดจากการดูดซับความชื้นของกระดาษในระหว่างการจัดเก็บ ทำให้ผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับกระดาษได้รับความชื้นในปริมาณที่มากและยาวนานกว่าในสถานะที่ไม่มีการห่อชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานในปริมาณที่มากขึ้น ในทางกลับกัน การห่อชิ้นงานด้วยพลาสติกชนิด PE (Polyethylene) สามารถลดปริมาณการเกิดตำหนิได้ดีเนื่องจากการแพร่ซึมของความชื้นผ่านแผ่นพลาสติกชนิด PE (Polyethylene) เกิดได้ช้ากว่า

กระดาษชนิด KA (SOS) หรือการดูดซับความชื้นด้วยแผ่นพลาสติกชนิด PE (Polyethylene) มีค่าน้อยกว่ากระดาษชนิด KA (SOS) แม้ว่ารอยตำหนิที่พบบนผิวชิ้นงานที่ห่อด้วยพลาสติกชนิด PE (Polyethylene) มีขนาดเล็ก หากแต่การเกิดรอยตำหนิไม่ว่ามีขนาดใดก็ตามก็ถือว่ายอมรับไม่ได้เช่นกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนของบรรจุภัณฑ์พบว่ากระดาษมีราคาถูกกว่าพลาสติก ดังนั้นการใช้กระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ยังคงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะในกรณีที่มีระยะเวลาในการจัดเก็บน้อยกว่า 6 วัน

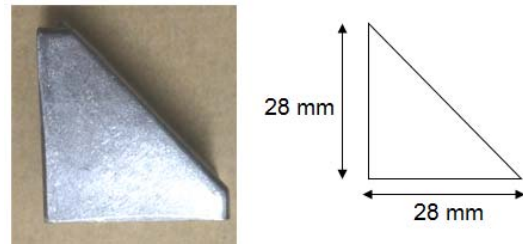
เพื่อเป็นการชะลอการเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 อันเนื่องมาจากความชื้นที่ถูกบรรจุภายใต้ภาชนะปิด การใส่สารดูดความชื้นลงไป ในภาชนะในปริมาณที่เหมาะสมน่าจะช่วยชะลอการเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานได้ ดังนั้นปริมาณ สารดูดความชื้นที่เหมาะสมจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในงานวิจัยนี้

#### 4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ชิ้นงาน ที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้เป็นชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 ผลิตด้วยการหล่อฉีด ดังแสดงในรูปที่ 5 จากผลการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบว่าชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์ ระดับความชื้น และระยะเวลาในการจัดเก็บเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณรอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 ในระหว่างการจัดเก็บ นอกจากนี้ปริมาณสารดูดความชื้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4 อัตราส่วนตำหนิต่อพื้นผิวที่เกิดขึ้นเมื่อชิ้นงานจัดเก็บภายใต้ระดับความชื้นที่ (ก) 60% (ข) 80% (ค) 100%



รูปที่ 5 ชิ้นงานรูปทรงสามเหลี่ยมขนาดฐาน 28 mm x สูง 28 mm

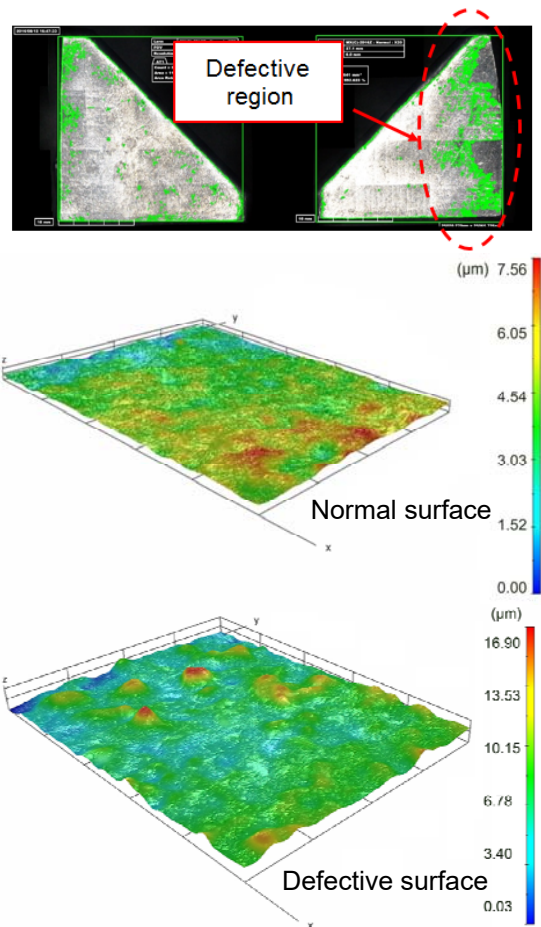
อย่างไรก็ตาม การจัดเก็บชิ้นงานในสถานที่จัดเก็บจริงของบริษัทกรณีศึกษาไม่สามารถควบคุมปริมาณความชื้นของสถานที่จัดเก็บได้ ดังนั้นความชื้นในอากาศจึงจัดเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ อนึ่ง จากการตรวจวัดระดับความชื้นบริเวณสถานที่จัดเก็บพบว่ามีความชื้นโดยเฉลี่ยประมาณ 80% ดังนั้น เพื่อให้ผลการทดลองอยู่ภายใต้ระดับความชื้นเดียวกัน ชิ้นงานทดสอบในทุกสภาวะจึงนำมาทดลองพร้อมกัน โดยจัดเก็บในสถานที่จัดเก็บเดียวกัน เริ่มทำการทดลองในวันเดียวกัน และทำการบันทึกผลการทดลองพร้อมกัน สำหรับปัจจัยที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้คือ ชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์ ระยะเวลาในการจัดเก็บ และปริมาณของสารดูดความชื้นที่ใช้

ชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นำมาทดลองคือ กระดาษและพลาสติกชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองชิ้นงานที่ไม่มีการห่ออีกชุดหนึ่งเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ สำหรับระยะเวลาในการจัดเก็บสูงสุดคือ 30 วัน โดยชิ้นงานถูกนำออกมาตรวจวัดขนาดรอยตำหนิต่างๆ วันพร้อมกัน สารดูดความชื้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ซิลิกาเจล และใช้ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 กรัม ปัจจัยและค่าปัจจัยที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ได้สรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้

Factors	Level
Wrapping method	No wrapping, Plastic wrapping, Paper wrapping
Day in storage (Day)	30
Amount of silica gel (gram)	5, 10, 15, 20

การทดลองในแต่ละสภาวะมีชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 20 ชิ้น บรรจุลงในกล่องปริมาตร 1,521 ลูกบาศก์-เซนติเมตร (13 x 13 x 9 เซนติเมตร) และทำการสุ่มชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้น ออกมาวัดพื้นที่ขนาดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยทำการวัดขนาดพื้นที่ตำหนิบนผิวชิ้นงานที่เกิดตำหนิทั้ง 2 ด้านด้วยกล้องไมโครสโคป ยี่ห้อ Hirox รุ่น RH8700 ซึ่งมีโปรแกรมช่วยในการคำนวณหาขนาดพื้นที่ที่เกิดตำหนิจากเจดสีที่เปลี่ยนไปบนชิ้นงานดังรูปที่ 6 โดยเจดสีที่เปลี่ยนไปบ่งบอกถึงระดับความสูงต่ำของผิวชิ้นงาน เมื่อพิจารณาจากลักษณะของตำหนิบนผิวชิ้นงานที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่าพื้นผิวของตำหนิมีระดับของความสูงต่ำที่แตกต่างกันมาก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มีค่าความหยาบผิวมาก จากการตรวจสอบผิวชิ้นงานด้วยกล้องไมโครสโคปทำให้สามารถจำแนกและวัดขนาดพื้นที่ของผิวชิ้นงานที่ปกติ และผิวที่เกิดตำหนิได้ เมื่อนำค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่ตำหนิที่ได้นำมาหารด้วยขนาดพื้นที่ผิวชิ้นงาน (รูปที่ 5) ค่าที่ได้เป็นค่าอัตราส่วนตำหนิต่อพื้นที่ผิว



รูปที่ 6 ลักษณะการเกิดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน

### 5. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

จากผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ปริมาณของตำหนิที่ตรวจวัดได้เมื่อใช้กระดาษห่อชิ้นงานยังคงมีค่ามากที่สุดในทุกๆ สภาวะของการใช้สารดูดความชื้น ลักษณะเช่นนี้สอดคล้องกับผลการทดลองเบื้องต้นในรูปที่ 4 โดยกระดาษสามารถดูดซับความชื้นและคงระดับความชื้นได้นาน ดังนั้นเมื่อกระดาษที่มีความชื้นสัมผัสกับผิวชิ้นงานจึงทำให้เกิดรอยตำหนิขึ้น อย่างไรก็ตาม ระดับความรุนแรงหรือ



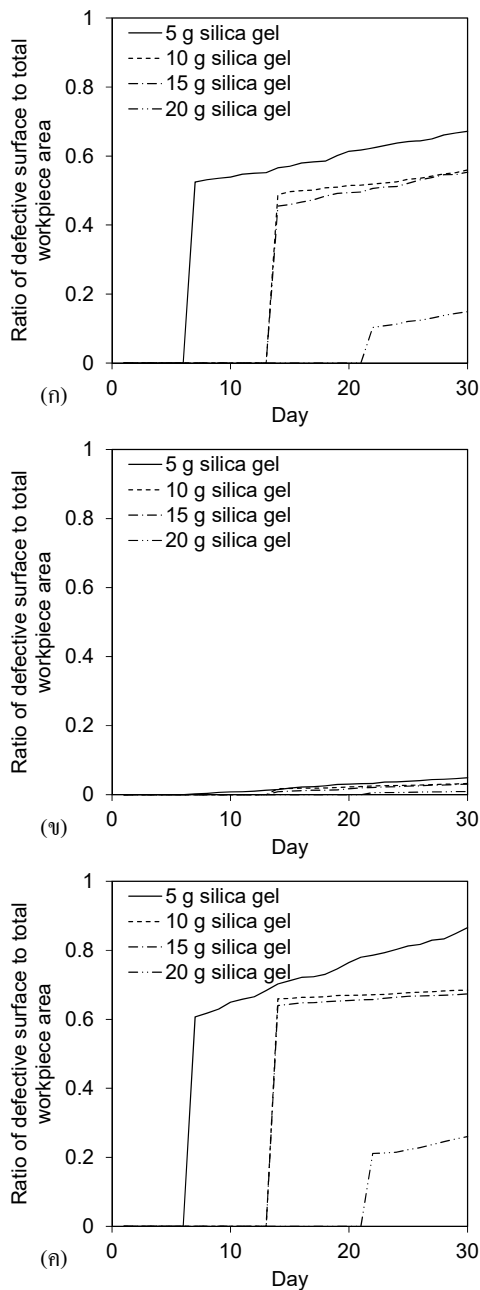
อัตราส่วนค่าหนีต่อพื้นผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นมีค่าที่ลดลง เมื่อใช้ปริมาณสารดูดความชื้นที่มากขึ้น อีกทั้งยังช่วยยืดระยะเวลาในการจัดเก็บชิ้นงานให้ยาวนานมากขึ้นด้วย

นอกจากนี้ ผลการทดลองที่ได้ยังมีประเด็นที่น่าสนใจอยู่ 2 ประการ คือ (1) การห่อชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บชิ้นงาน แต่มีผลต่อขนาดของค่าหนีที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน และ (2) การใช้สารดูดความชื้นที่ 5 กรัม ไม่ได้ช่วยชะลอการเกิดค่าหนีบนผิวชิ้นงานเนื่องจากผิวชิ้นงานยังคงพบค่าหนีเกิดขึ้นหลังจากวันที่ 6 ของการจัดเก็บเช่นเดียวกับที่ตรวจพบในการทดลองเบื้องต้น (รูปที่ 4) ที่ไม่ได้ใช้สารดูดความชื้นในระหว่างการจัดเก็บ

สำหรับการใช้สารดูดความชื้นที่ 10 และ 15 กรัม สามารถช่วยชะลอการเกิดค่าหนีบนผิวชิ้นงานได้ 13 วัน และการใช้สารดูดความชื้นในปริมาณ 20 กรัม สามารถช่วยชะลอการเกิดค่าหนีบนผิวชิ้นงานได้ 21 วัน ไม่ว่าจะทำการห่อชิ้นงานด้วยรูปแบบใดก็ตาม จากผลการทดลองที่ได้นี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้สารดูดความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมสามารถชะลอการเกิดค่าหนีบนชิ้นงานได้ จากข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า ระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการจัดเก็บก่อนส่งถึงลูกค้าคือ 13 วัน ดังนั้นปริมาณของสารดูดความชื้นที่ต้องใช้ต่อปริมาณภาชนะบรรจุเพื่อให้สามารถคงสภาพของชิ้นงานได้นาน 13 วัน คือการใช้สารดูดความชื้น 10 กรัม เนื่องจากปริมาตรของภาชนะที่ใช้ในการทดลองคือ 1,521 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้น ปริมาณการใช้สารดูดความชื้นต่อปริมาตรกล่องบรรจุภัณฑ์คิดเป็น  $10/1,521 = 0.00657$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 6.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อนำ

ปริมาณการใช้สารดูดความชื้นนี้ไปประยุกต์ใช้กับกล่องบรรจุชิ้นงานที่มีปริมาตร 31,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร (30 x 35 x 30 เซนติเมตร) สารดูดความชื้นที่ต้องใส่ในกล่องบรรจุขนาดนี้ต้องมีน้ำหนัก 210 กรัม/กล่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดค่าหนีบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 ในระหว่างการจัดเก็บและการจัดส่งที่ระยะเวลาไม่เกิน 13 วัน

เมื่อนำแนวทางการใส่สารดูดความชื้นที่ขนาด 6.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในกล่องบรรจุชิ้นงานไปประยุกต์ใช้พบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถลดอัตราส่วนของการเกิดรอยค่าหนีบนผิวชิ้นงานบนอลูมิเนียม ADC12 ในวันที่ 13 ของการจัดเก็บจากเดิม 43.96% เหลือ 19.67% หรือสามารถลดอัตราการเกิดรอยค่าหนีบนผิวชิ้นงานได้ 55.25 % นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนที่เกิดจากการใส่สารดูดความชื้นลงในกล่องบรรจุชิ้นงาน พบว่า ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 21 บาทต่อกล่อง หากมีการบรรจุชิ้นงานจำนวน 403 กล่อง กล่องละ 1,200 ชิ้น รวมชิ้นงานทั้งหมด 482,853 ชิ้น จะมีการใช้สารดูดความชื้นปริมาณ 84,630 กรัม คิดเป็นจำนวนเงิน 8,463 บาท เมื่อเทียบกับมูลค่างานเสียที่ลดลงจาก 652,508 บาท เหลือเพียง 147,183 บาท แล้ว จึงสามารถสรุปได้ว่า การใส่สารดูดความชื้นลงในกล่องบรรจุภัณฑ์ในปริมาณ 6.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถช่วยลดการเกิดรอยค่าหนีบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 ได้ในช่วง 13 วันแรกของการจัดเก็บ อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนรวมของการผลิตที่เกิดจากงานเสียได้อีกด้วย



รูปที่ 7 อัตราส่วนตำหนิต่อพื้นผิวที่เกิดขึ้นเมื่อชิ้นงานจัดเก็บแบบ (ก) ไม่มีการห่อ (ข) ห่อในพลาสติก (ค) ห่อในกระดาษ

## 6. สรุปผล

จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ส่งผลกระทบต่อขนาดตำหนิที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียม ADC12 โดยการห่อชิ้นงานด้วยพลาสติกมีอัตราส่วนขนาดตำหนิต่อพื้นที่ผิวชิ้นงานน้อยสุด ในขณะที่การบรรจุชิ้นงานในกระดาษพบปริมาณตำหนิเกิดขึ้นมากที่สุด นอกจากนี้ระยะเวลาในการจัดเก็บและระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดออกซิเดชันบนผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะการห่อชิ้นงานด้วยกระดาษ เนื่องจากกระดาษดูดซับความชื้นและเก็บกักความชื้นอยู่ภายใน ส่งผลให้เกิดเป็นรอยตำหนิในปริมาณมากบนผิวชิ้นงาน จากการทดลองเก็บชิ้นงานโดยใช้สารดูดความชื้นในปริมาณที่ต่างกันพบว่า ซิลิกาเจล สามารถช่วยลดขนาดรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานและยืดระยะเวลาในการจัดเก็บชิ้นงานให้อยู่ในสภาพที่ไม่เกิดตำหนิได้ ปริมาณสารดูดความชื้นที่ใช้ในการรักษาสภาพชิ้นงานในบรรจุภัณฑ์ที่ถูกจัดเก็บหรืออยู่ระหว่างการจัดส่งในระยะเวลาไม่เกิน 13 วัน ควรใช้อย่างน้อย 6.57 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของปริมาตรภาชนะบรรจุ

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนชิ้นงานจากบริษัท สแตนดาร์ด ยูนิคส์ ซัพพลาย (ไทยแลนด์) จำกัด

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Satirajinda, Non-Ferrous Metal, Chulalongkorn University Press, Bangkok, 2000, pp. 1-26. (in Thai)

- [2] S. Farahany, A. Ourdjini, T.A. Abu Bakar and M.H. Idris, "A new approach to assess the effects of Sr and Bi interaction in ADC12 Al-Si die casting alloy", *Thermochimica Acta* 575, 2014, pp. 179-187.
- [3] J.S. Shin, S.H. Ko and K.T. Kim, "Development and characterization of low-silicon cast aluminum alloys for thermal dissipation", *Journal of Alloys and Compounds* 644, 2015, pp. 673-686.
- [4] Y. Zhang, H. Liu, D. Liu, H. Gao, Y. Li, D. Tang, W. Huang and Z. Song, "Effects of Sm addition on microstructure and mechanical properties of ADC12 alloy, *Tezhong Zhuzao Ji Youse Hejin/Special Casting and Nonferrous Alloys* 36(3), 2016, pp. 316-319.
- [5] K. Ozaki, F. Tadao, K. Ishida and K. Tanaka, "Experimental study on fluidity length and time taken for flow stoppage of ADC12 by means of suction test", *Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, A Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part A* 76(761), 2010, pp. 81-87.
- [6] M. Okayasu, K. Ota, S. Takeuchi, H. Ohfuji and T. Shiraishi, "Influence of microstructural characteristics on mechanical properties of ADC12 aluminum alloy", *Materials Science and Engineering A* 592(13), 2014, pp. 189-200.
- [7] S. Janudom, T. Rattanochaikul, R. Burapa, S. Wisutmethangoon and J. Wannasin, "Feasibility of semi-solid die casting of ADC12 aluminum alloy", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 20(9), 2010, pp. 1756–1762.
- [8] M. Kaewnopparat, *Defect Reduction in Automotive Aluminum Die Casting Using Casting Simulation Software*, Master Thesis, Metallurgical Engineering, Suranaree University of Technology, 2012.
- [9] RIMA International, *Technical Bulletin #105 Oxidation of Aluminum Foil Facings Used in Reflective Insulation*, Reflective Insulation Manufacturers Association International, 2008.
- [10] The Aluminum Association, *Guidelines for Minimizing Water Staining of Aluminum*, The Aluminum Association, 2009.