

การศึกษาผลของมุมการเทน้ำโลหะที่มีต่อคุณภาพชิ้นงาน ในกระบวนการหล่อโลหะอลูมิเนียม

Study of Effects of Filling Angle on Product Quality in Aluminium Casting

สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์ ศศิธร พัทธกัญญาพนพงษ์*

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพินุลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*E-mail: sstp@kmitnb.ac.th

Suttipong Jumroonrut Sasithon Pitakthapanaphong*

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok,

1518 Piboolsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800

*E-mail: sstp@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

การหล่อเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานรูปแบบหนึ่งที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ วัสดุที่เป็นที่นิยมคืออลูมิเนียมอัลลอยด์ เนื่องจากข้อดีในด้านน้ำหนักและความแข็งแรง ปัญหาหลักที่พบในงานหล่อ คือ ปัญหาเรื่องคุณภาพของชิ้นงาน ที่มักจะเกิดจุดบกพร่องชนิดต่างๆ ที่ตำแหน่งต่างๆ กัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากตัวแปรหลายๆ ตัวด้วยกัน มุมการเทน้ำโลหะ จัดเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน การปรับเปลี่ยนตัวแปรในกระบวนการหล่อโดยวิธีลองผิดลองถูก มีค่าใช้จ่ายสูงและบางครั้งไม่สามารถแก้ปัญหาได้ เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจที่เพียงพอ งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการจำลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการหล่อโลหะอลูมิเนียมโดยใช้มุมการเทน้ำโลหะต่างๆ กัน โดยศึกษาจากชิ้นงานชิ้นส่วนยานยนต์ ผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับปัญหาที่พบในอุตสาหกรรม และสามารถเป็นแนวทางเพื่อนำไปปรับใช้ได้ต่อไป

คำหลัก การหล่อโลหะ อลูมิเนียม มุมการเท น้ำโลหะ

Abstract

Casting process is commonly used in manufacturing automotive parts. One of the popular materials for casting is aluminium alloy due to its high strength to weight ratio. A prime problem encountered in casting is the poor quality of the cast products due to defects at different locations. The types and severity of defects depend on a number of parameters including the filling angle. Trials and errors are often used in industry to optimise the casting process. This is however costly and time consuming, This research aims to use a simulation method based on finite

difference analysis to investigate the effects of filling angle on the quality of the cast products. Results can be further applied to some use in industry.

Keywords: Casting, Aluminium, Filling angle

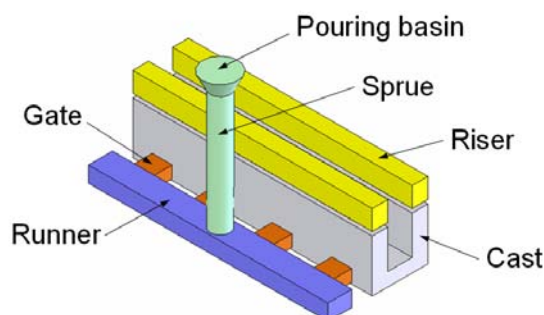
1. บทนำ

งานหล่อโลหะเป็นกระบวนการแปรรูปและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งผลิตภัณฑ์สำเร็จ หรือเป็นชิ้นงานเริ่มต้นให้แก่กระบวนการผลิตอื่นๆ ผลิตภัณฑ์หล่อมีใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม ทั้งในเครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักร และยานยนต์ การแข่งขันที่มีสูงในอุตสาหกรรมหล่อในด้านคุณภาพงานหล่อ การเพิ่มอัตราการผลิต เพื่อลดต้นทุน ทำให้ผู้ผลิตต้องมีความรู้ความเข้าใจและสามารถวิเคราะห์ ตรวจสอบและแก้ไขงานหล่อได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือการขาดองค์ความรู้ในเรื่องกระบวนการหล่อ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน ทั้งนี้เพราะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เฟส โครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุตลอดกระบวนการ ตั้งแต่การเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อ (Filling) จนถึงการแข็งตัว (Solidification) [1]

น้ำโลหะที่อยู่ในสภาวะของเหลว เมื่อถูกเทลงในแบบหล่อจนเต็มแล้ว ความร้อนในน้ำโลหะจะถูกถ่ายเทให้กับวัสดุและสิ่งแวดล้อมที่น้ำโลหะสัมผัสอยู่ พร้อมกับทำให้น้ำโลหะเกิดการแข็งตัว ระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะซึ่งมีระยะเวลาไม่นานนัก จัดเป็นช่วงที่มีความสำคัญมาก เพราะโลหะจะเกิดการสร้างผลึก ซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของโลหะนั้นๆ น้ำโลหะที่อุณหภูมิสูงจะมีการขยายตัว ทำให้มีปริมาตรมากกว่าน้ำโลหะมวลเดียวกันที่อุณหภูมิต่ำกว่า อีกทั้งโลหะในสภาวะของเหลว จะมีปริมาตรมากกว่าในสภาวะของแข็ง ดังนั้น

ในระหว่างการแข็งตัว ชิ้นงานหล่อจะเกิดการยุบตัว โดยแบ่งเป็นสองชนิดคือ Contraction คือการลดปริมาตรลงในสภาวะของเหลว จากระดับอุณหภูมิสูงลงสู่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่า โดยทั่วไปน้ำโลหะจะลดปริมาตรลง 2.8% ทุกๆ 100°C ที่ลดลง และ Shrinkage คือการยุบตัวในสภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็ง สำหรับอลูมิเนียม มีอัตราการลดลงประมาณ 6.6% [2] รูปร่างและตำแหน่งของโพรงที่เกิดจากการยุบตัว จะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำโลหะ มักเกิดในชิ้นงานบริเวณที่มีความหนาซึ่งใช้ระยะเวลาในการเย็นตัวมากกว่าชิ้นงานส่วนที่บางกว่า เนื้อโลหะจากส่วนหนาจึงถูกดึงไปยังส่วนบางในระหว่างการเย็นตัว ข้อบกพร่องอื่นๆ ที่พบได้ในชิ้นงานหล่อนอกจากโพรงจากการยุบตัวแล้ว เป็นต้นว่า การเกิด misrun ซึ่งมักเกิดที่ผิวหรือผนังของชิ้นงาน เนื่องจากน้ำโลหะเข้าไม่เต็มแบบหล่อ หรือแข็งตัวก่อนเข้าถึงแบบหล่อ หรืออุณหภูมิแบบหล่อที่ต่ำเกินไป ทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดหรือรูปร่างตามแบบหล่อ ข้อบกพร่องอีกชนิดหนึ่งที่เกิดกับชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมคือการเกิดออกไซด์ที่บริเวณผิว (Oxidation) มักเกิดจากการไหลแบบ Turbulence ของน้ำโลหะในระหว่างการเท [3]

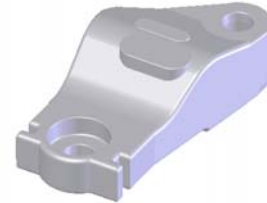
ดังนั้น ในการแก้ปัญหาเรื่องคุณภาพชิ้นงานหล่อ จำเป็นต้องศึกษารอบคลุมตัวแปรหลายประการด้วยกัน เช่น 1) การออกแบบระบบจ่ายน้ำโลหะ (Gating system) ซึ่งรวมถึงขนาดและรูปร่างของส่วนประกอบต่างๆ ในระบบจ่ายน้ำโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 1 เช่น sprue, gate, runner และ riser; 2) อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องอันรวมถึงอุณหภูมิของน้ำโลหะขณะเท และอุณหภูมิของแบบหล่อ; 3) ตัวแปรในการเท เช่น ระยะเวลาในการเท มุมการเท เป็นต้น ในอุตสาหกรรม การพัฒนาคุณภาพชิ้นงานหล่อ มักใช้การลองผิดลองถูก และพึ่งพาประสบการณ์ของผู้ทำงานมากกว่าความเข้าใจอย่างแท้จริง การทำจำลองเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเพิ่มขึ้นในการศึกษาระบวนการผลิตต่างๆ รวมถึงการหล่อ เนื่องจากสามารถใช้วิเคราะห์ผลที่บางครั้งไม่อาจเห็นหรือวัดได้จากการผลิตจริง อีกทั้งยังสามารถใช้ทำนายผลที่อาจจะเกิดขึ้น เมื่อมีการปรับเปลี่ยนตัวแปร เพื่อใช้เป็นแนวทางก่อนนำไปทำจริง ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายลงได้ ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงอิทธิพลของมุมการเทน้ำโลหะต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ โดยใช้กรณีศึกษาเป็นชิ้นงานชิ้นส่วนยานยนต์ ที่มีระบบจ่ายน้ำโลหะเดียวกัน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องเหมือนกัน แต่ทำการเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อที่มุมต่างๆ กัน โดยทำการศึกษาด้วยการทำจำลองโดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ [4]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบในระบบจ่ายน้ำโลหะ [5]

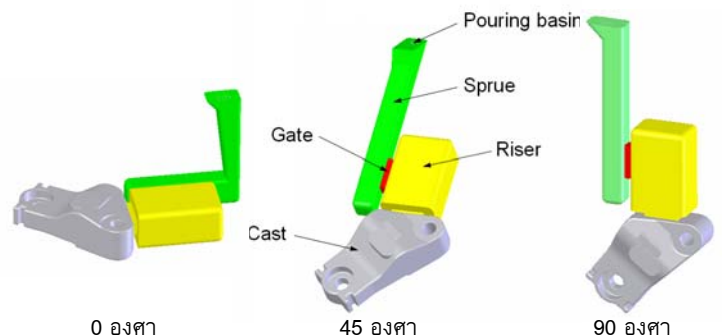
2. แบบจำลองการหล่อ

ชิ้นงานหล่อที่ศึกษานี้คือชิ้นส่วน bracket ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ดังมีลักษณะแสดงในรูปที่ 2 ขนาดโดยประมาณ 50×120 มม. ส่วนที่หนาที่สุดมีขนาด 36 มม. ส่วนที่บางที่สุดมีขนาด 9 มม..



รูปที่ 2 ชิ้นงาน bracket ที่ศึกษา

ระบบจ่ายน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อในกรณีนี้ประกอบด้วยส่วนหลักสามส่วน คือ sprue, gate และ riser ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อโดยใช้ระบบจ่ายน้ำโลหะที่มีขนาดและรูปร่างเดียวกัน โดยขนาดที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้จากปริมาตรของชิ้นงานหล่อที่ต้องการ [4] แต่มีการเทน้ำโลหะที่มุมต่างๆ กัน 3 มุมคือ การเทในชิ้นงานแนวระนาบ (0 องศา) การเทในแนวตั้ง (90 องศา) และการเทในแนวเอียงที่ 45 องศา รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองการหล่อที่มุมการเททั้ง 3 มุมที่ศึกษา



รูปที่ 3 แบบจำลองชิ้นงานและระบบจ่ายน้ำโลหะที่มุมการเทที่ 0, 45 และ 90 องศา

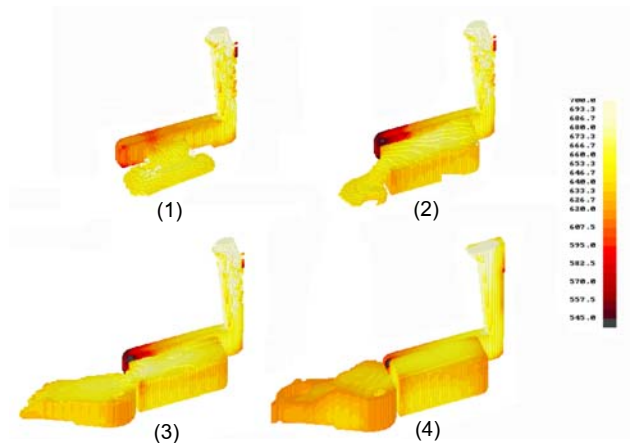
การจำลองการหล่อแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การจำลองการเท (Filling simulation) และการจำลองการแข็งตัว (Solidification simulation) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการเทประกอบด้วย น้ำโลหะอลูมิเนียมชนิด A355 อุณหภูมิน้ำโลหะขณะเทที่ 700°C วัสดุแบบหล่อคือเหล็กชนิด Iron white อุณหภูมิแบบหล่อที่ 350°C ระยะเวลาในการเทที่ 6 วินาที โดยค่าและวัสดุที่เลือกใช้นี้ สอดคล้องกับการหล่อจริงในอุตสาหกรรม การจำลองการแข็งตัวเริ่มต้นเมื่อน้ำโลหะเต็มเต็มแบบหล่อ โดยเป็นการเย็นตัวลงโดยไม่มีการหล่อเย็นช่วย

3. ผลการวิจัย

3.1 การเทน้ำโลหะ (Filling)

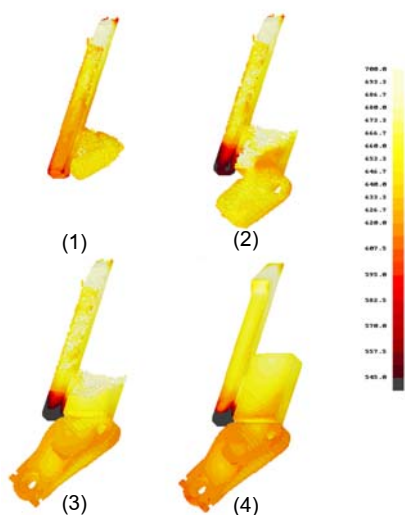
ในระหว่างการเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อที่มุมการเทต่างๆ กัน พบว่าการไหลของน้ำโลหะมีพฤติกรรมที่ต่างกัน รูปที่ 4 แสดงพฤติกรรมของ

น้ำโลหะในระหว่างการเทที่มุมการเทที่ 0 องศา จากรูป จะเห็นได้ว่าน้ำโลหะไหลผ่าน gate เข้าสู่ riser จนเกือบเต็ม แล้วจึงไหลเข้าสู่ชิ้นงาน เนื่องจาก riser และชิ้นงานอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน การกระจายตัวของอุณหภูมิของชิ้นงานและ riser มีค่าใกล้เคียงกันและมีลักษณะคล้ายกัน คือบริเวณด้านนอกของทั้งชิ้นงานและ riser จะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณด้านในเนื่องจากเป็นจุดที่สัมผัสกับแบบหล่อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ามาก การไหลของน้ำโลหะไม่มีลักษณะของ turbulence flow.



รูปที่ 4 การไหลของน้ำโลหะที่มุมการเท 0 องศา

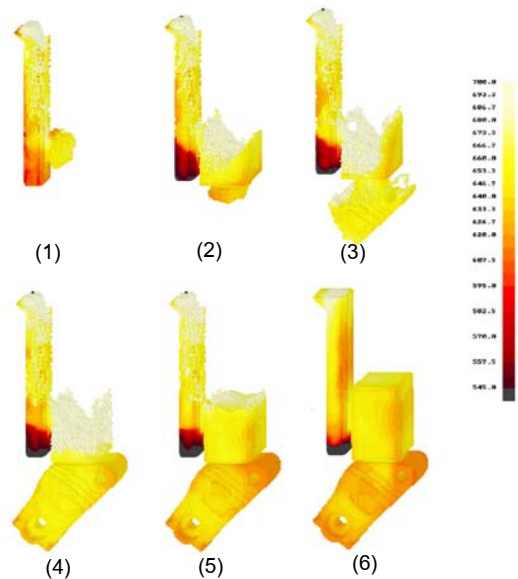
เมื่อทำการจำลองการเทที่มุมการเท 45 องศา (รูปที่ 5) ไม่พบการไหลแบบ turbulence flow ของน้ำโลหะเช่นกัน แต่ในกรณีนี้ น้ำโลหะไหลเข้าสู่แบบหล่อชิ้นงานจนเต็มก่อนที่จะเติมเต็มส่วนของ riser อุณหภูมิโดยทั่วไปของชิ้นงานต่ำกว่าอุณหภูมิของส่วน riser อย่างชัดเจน



รูปที่ 5 การไหลของน้ำโลหะที่มุมการเท 45 องศา

ในการเทที่มุม 90 องศา (รูปที่ 6) พบการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับกรณีการเทที่ 45 องศา กล่าวคืออุณหภูมิของชิ้นงานต่ำกว่าอุณหภูมิในส่วน riser อย่างไรก็ดี ในกรณีนี้ จะพบการแตกกระจายของน้ำโลหะอย่างชัดเจน อันแสดงถึงการไหลแบบ turbulence flow เนื่องจากการเป็นน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อในแนวตั้ง การแตกกระจายของน้ำ

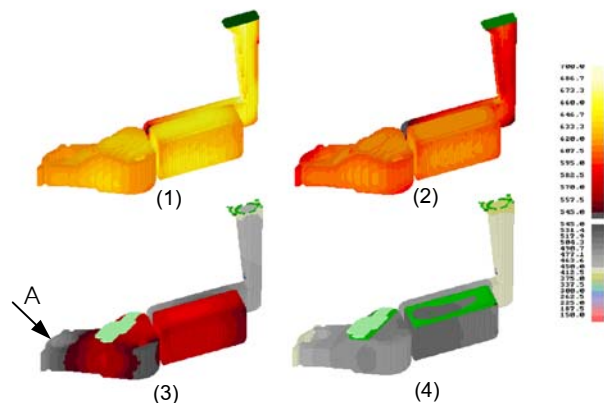
โลหะในลักษณะนี้ จะก่อให้เกิดฟิล์มออกไซด์ขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งจัดเป็นอินคลูชันที่ไม่ต้องการในชิ้นงานหล่อ



รูปที่ 6 การไหลของน้ำโลหะที่มุมการเท 90 องศา

3.2 การแข็งตัว (Solidification)

เมื่อน้ำโลหะเต็มแบบหล่อ การจำลองการแข็งตัวเริ่มต้นขึ้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำโลหะในระหว่างการแข็งตัวสำหรับมุมการเทที่ 0 องศา แสดงในรูปที่ 7

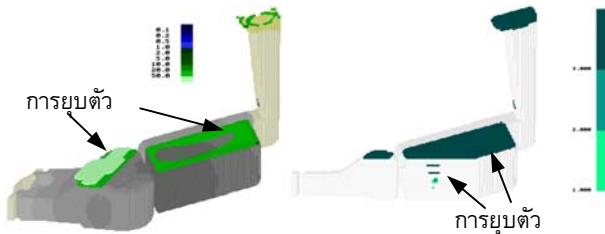


รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลหะในระหว่างการแข็งตัวที่มุมการเท 0 องศา

ในกรณีนี้ ชิ้นงานแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ในระยะเวลา 156 วินาที โดยส่วนที่มีการเย็นตัวก่อนคือส่วนของ sprue เนื่องจากมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ในส่วนของชิ้นงาน การเย็นตัวเริ่มจากพื้นผิวด้านนอก กระจายเข้าสู่ส่วนกลางชิ้นงาน โดยบริเวณที่บางกว่า (ส่วน A) มีการเย็นตัวเร็วกว่าบริเวณที่หนา

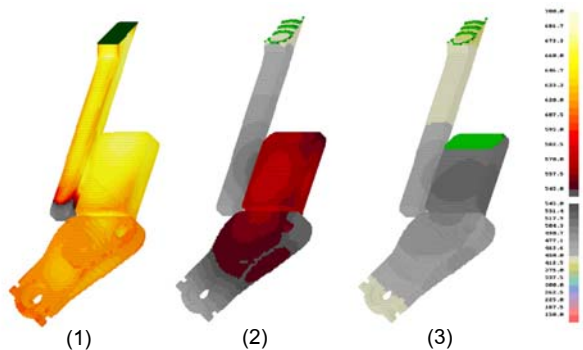
ข้อบกพร่องที่พบหลังจากชิ้นงานแข็งตัวแล้ว คือ การยุบตัวของเนื้อโลหะที่บริเวณด้านบนของชิ้นงาน และภายใน riser (รูปที่ 8) การยุบตัวภายในชิ้นงานเกิดในบริเวณที่หนาที่สุด เนื่องจากเย็นตัวช้าที่สุด ถึงแม้การเย็นตัวใน riser จะเกิดขึ้นช้ากว่าในชิ้นงาน (สังเกตได้จาก

อุณหภูมิของ riser ที่สูงกว่าของชิ้นงานตลอดระยะเวลาการแข็งตัว) แต่ น้ำโลหะในส่วนของ riser ก็ไม่สามารถป้อนเติมทดแทนไปยังชิ้นงานในระหว่างการแข็งตัวได้ เนื่องจากทั้งชิ้นงานและ riser อยู่ในระนาบเดียวกัน การยุบตัวของ riser เกิดทั้งบริเวณด้านบนและภายใน แต่อย่างไรก็ดี ไม่มีผลต่อคุณภาพงานหล่อ เนื่องจากเป็นส่วนที่จะตัดออกหลังการหล่อ

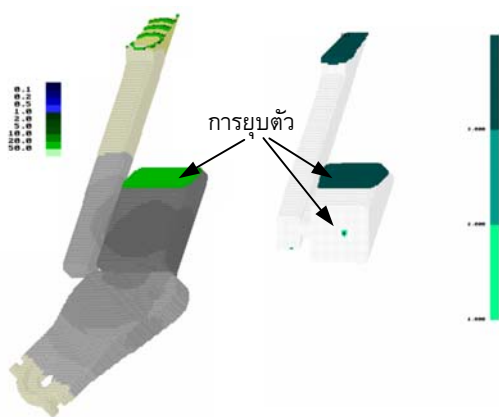


รูปที่ 8 การยุบตัวของเนื้อโลหะในการเทที่มุม 0 องศา

ในกรณีที่มีการเทน้ำโลหะที่มุม 45 องศา พบว่าการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ใช้ระยะเวลา 150 วินาที ส่วนชิ้นงานมีการแข็งตัวที่เร็วกว่าส่วน riser อย่างชัดเจน ดังแสดงได้จากอุณหภูมิของทั้งสองส่วนในระหว่างการแข็งตัว (รูปที่ 9) อีกทั้งน้ำโลหะจาก riser สามารถไหลไปเติมทดแทนปริมาตรที่ลดลงของโลหะในส่วนชิ้นงานได้ ดังนั้น จึงไม่เกิดการยุบตัวภายในชิ้นงาน การยุบตัวเกิดขึ้นหลักๆ ในบริเวณด้านบนของ riser เท่านั้น (รูปที่ 10)

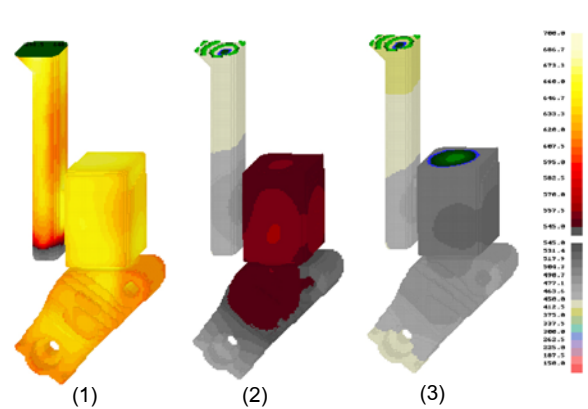


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลหะในระหว่างการแข็งตัวที่มุมการเท 45 องศา

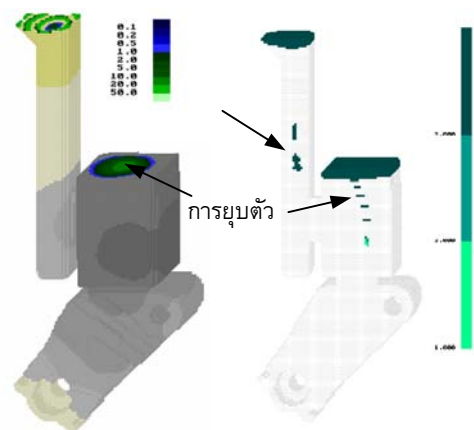


รูปที่ 10 การยุบตัวของเนื้อโลหะในการเทที่มุม 45 องศา

พฤติกรรมของการแข็งตัวในกรณีการเทที่ 90 องศา คล้ายกับการเทที่ 45 องศา กล่าวคือ ใช้ระยะเวลาประมาณ 155 วินาที ส่วนของชิ้นงานเย็นตัวเร็วกว่าส่วนของ riser โดยส่วนที่บางกว่าเย็นตัวเร็วกว่าส่วนที่หนากว่า (รูปที่ 11) เมื่อชิ้นงานแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ พบว่า riser สามารถป้อนเติมการหดตัวให้แก่ชิ้นงานได้เช่นกัน ทำให้การยุบตัวเกิดขึ้นเฉพาะภายใน riser (รูปที่ 12)



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลหะในระหว่างการแข็งตัวที่มุมการเท 90 องศา



รูปที่ 12 การยุบตัวของเนื้อโลหะในการเทที่มุม 90 องศา

4. สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมมีหลายประการ การเทน้ำโลหะเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมไหลและการแข็งตัวของโลหะอลูมิเนียม จากการจำลองพบว่าที่มุมการเทในแนวระนาบ (0 องศา) พบข้อบกพร่องคือการยุบตัวของเนื้อโลหะภายในชิ้นงานเนื่องมาจากการหดตัวของโลหะในระหว่างการเย็นตัวและน้ำโลหะจากส่วนของ riser ไม่สามารถมาเติมทดแทนได้ที่มุมการเทที่ 45 และ 90 องศา มีการเติมทดแทนของน้ำโลหะจาก riser ไปยังชิ้นงานได้ ทำให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ที่การเทที่ 90 องศา น้ำโลหะมีพฤติกรรมไหลแบบ turbulence flow ซึ่งในกรณีของการหล่ออลูมิเนียมจะก่อให้เกิดฟิล์มออกไซด์ขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ไม่ต้องการเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โครงการ F-31-101-21-08 ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท AppliCad จำกัด ที่ให้การสนับสนุนซอฟต์แวร์ และ บริษัท Enkei Thai จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Campbell, Casting, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, England, 1991
- [2] Dr John T H Pearce และคณะ เทคโนโลยีและโลหะวิทยาของ อลูมิเนียมหล่อ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พ.ศ.2543
- [3] Dr John T H Pearce และกลุ่ม METALS ขัอบกพร่องในงานหล่อโลหะ สาเหตุและวิธีการแก้ไข ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พ.ศ.2544
- [4] CastCAE Version 3.9 by CT-CASTech Inc.
- [5] S. Guleyupoglu, "Casting Process Design Guidelines", AFS Transactions, 1997, pp. 869-876