

การแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสมหล่อ

Hot Tearing in Metal Casting Alloys: A Review

ธีร์ เชาวนนทปัญญา¹ และ ชัยวัฒน์ พีรทัศสุวรรณ^{2,*}

¹คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยภูมิ 20230

E-mail: thee.c@ku.th, (+66)38352606-7 ต่อ 2684

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

E-mail: chaiyavat66@gmail.com, (+66)4423-3000 ต่อ 3350

T. Chowwanonthapunya¹ and C. Peeratatsuwan^{2,*}

¹Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Sriracha, Chonburi 20230, Thailand.

E-mail: thee.c@ku.th, (+66)38352606-7 Ext. 2675

²Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakornratchasima,

Thailand. E-mail:chaiyavat66@gmail.com, (+66)4423-3000 Ext. 3350

บทคัดย่อ

การแตกร้าวขณะร้อน (Hot Tearing) เป็นจุดบกพร่องที่ส่งผลเสียต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ ซึ่งทำให้วงการอุตสาหกรรมนั้นสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก จากผลกระทบของปัญหาดังกล่าว ทำให้ความรู้เรื่องการแตกร้าวในขณะร้อนของโลหะผสมมีความสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมหล่อโลหะ บทความปริทรรศน์ฉบับนี้ ได้ทำการรวบรวมความเข้าใจในเรื่องกลไกและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเกิดรอยร้าวขณะร้อน นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความต้านทานการแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสม องค์ความรู้ดังกล่าวนี้สร้างความเข้าใจในภาพรวมของปัญหาการแตกร้าวขณะร้อน ซึ่งสามารถนำมาสู่การพัฒนาความรู้เรื่องการป้องกันการแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสมในอุตสาหกรรมงานหล่อต่อไป

คำสำคัญ: การแตกร้าวขณะร้อน, จุดบกพร่อง, โลหะผสม

Abstract

Hot Tearing is an important defect, resulting in the degradation of the mechanical properties of casting alloys. The consequence of such defect causes the economic loss in the industry. Hence, the understanding in hot tearing in the alloy casting is of extreme importance to the casting industry. This review article presents the

mechanisms and casting parameters, related to the hot tearing. Besides, this article also provides the important method for hot crack susceptibility assessment of casting alloys. Such knowledge can lead to the understanding in the overview of the hot crack, which can further be applied for the hot crack prevention in the casting industry.

Keywords: Hot Tearing, Defects, Casting alloys.

1. บทนำ

รอยร้าวในขณะร้อน (Hot Tearing) หรืออาจรู้จักในชื่ออื่น เช่น การแตกร้าวในขณะแข็งตัว (Solidification Cracking, Hot Brittleness หรือ Hot Short) เป็นจุดบกพร่องที่พบบ่อยในชิ้นงานโลหะหล่อผสม เช่น อะลูมิเนียม และทองแดงผสมหล่อ [1] รอยร้าวที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ โดยการแตกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานหล่อนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวหรือภายในผิวของชิ้นงานหล่อ ขนาดของรอยร้าวดังกล่าวนั้นอาจจะมีขนาดใหญ่จนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือในบางครั้งอาจจะมีขนาดเล็กจนไม่สามารถสังเกตได้ [2] และเมื่อรอยร้าวถูกตรวจพบในชิ้นงานหล่อ ทางผู้ผลิตจะทำการซ่อมรอยร้าวหรือแยกเป็นชิ้นงานเสียแล้วนำชิ้นงานดังกล่าวกลับไปหลอมใหม่ ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมการหล่อโลหะสูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมาก [3] จากผลกระทบของปัญหาดังกล่าว ทำให้เรื่องการแตกร้าวในขณะร้อนของโลหะผสมมีการวิจัยและศึกษาอย่างกว้างขวางจากนักโลหวิทยางานหล่อ ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การแตกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานหล่อนั้นเป็นปัญหาทางด้านการผลิตที่ซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ มากมาย ทั้งจากสัดส่วนของธาตุผสมของตัวโลหะผสมเอง และจากกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิในการผลิต [4]

บทความปริทรรศน์ฉบับนี้ ทางผู้แต่งได้ทำการรวบรวมความเข้าใจในเรื่องกลไกและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรอยร้าวขณะร้อนนอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความต้านทานการแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสม องค์ความรู้ดังกล่าวนี้สร้างความเข้าใจในภาพรวมของปัญหาการแตกร้าวขณะร้อน ซึ่งสามารถนำมาสู่การวิจัยและพัฒนาความรู้เรื่องการแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสมในอุตสาหกรรมงานหล่อของประเทศไทยต่อไป

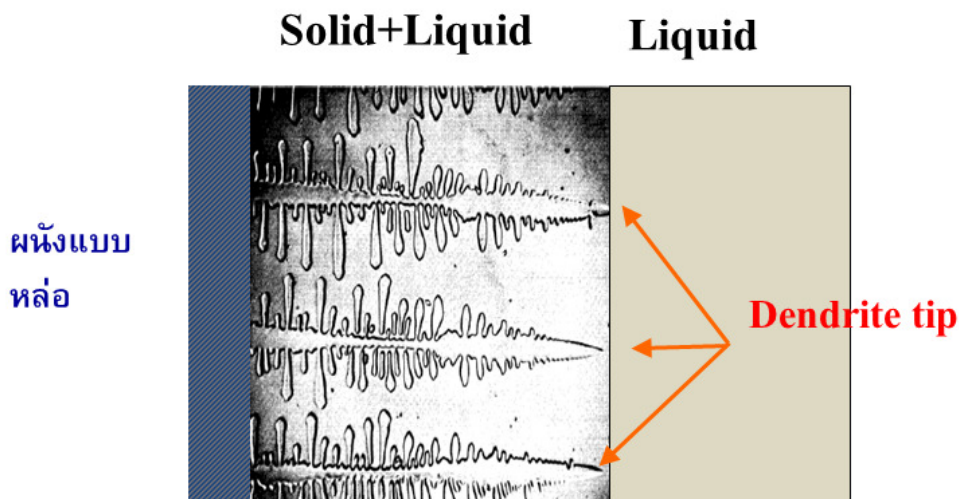
2. กลไกการเกิดรอยร้าวในขณะร้อน

รอยร้าวที่เกิดขณะร้อนเป็นจุดบกพร่องในงานหล่อ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่โลหะในรูปของเหลวเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นของแข็ง หรือ เกิดการแข็งตัว (Solidification) โดยการแตกร้าวขณะร้อนขึ้นกับตัวแปรทางกล เช่น ความเค้น ความเครียดที่เกิดขึ้นในช่วงโลหะกำลังแข็งตัว นอกจากนี้ตัวแปรด้านโลหะวิทยารวมทั้งกระบวนการหล่อ เช่น ช่วงการแข็งตัวของโลหะผสม สัดส่วนของเฟสยูเทคติก อุณหภูมิเท และรูปร่างของชิ้นงานเอง นั้นก็เป็นส่วนสำคัญต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของชิ้นงานหล่อ [5] ดังนั้น ปัญหารอยร้าวที่เกิดในขณะร้อนจึงเป็นปัญหาทางโลหวิทยาด้านงานหล่อที่ซับซ้อน ในอดีตถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาการแตกร้าวในขณะร้อน

และเสนอทฤษฎีกลไกการเกิดรอยแตกร้าวในขณะร้อนโดยนักวิจัยด้านโลหะวิทยาจำนวนมากมาย ซึ่งทางบทความนี้ได้ทำการรวบรวมความเข้าใจจากงานที่สำคัญไว้อย่างเป็นระบบ ซึ่งกลไกการเกิดรอยแตกร้าวเหล่านี้เป็นพื้นฐานความรู้ที่สำคัญในเรื่องการเกิดแตกร้าวในขณะร้อนของโลหะผสมหล่อ

2.1 การแตกร้าวขณะร้อนเกิดจากความเค้นที่เกิดขึ้นขณะโลหะแข็งตัว

Vero [6] เป็นนักโลหะวิทยาคนแรกที่เสนอกลไกนี้เมื่อปี 1936 โดย Vero เสนอว่า เมื่อโลหะกำลังเกิดการแข็งตัว โลหะจะแข็งตัวโดยการเกิดและโตของเกรนที่มีรูปร่างเป็นกิ่งไม้ (Dendrite) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเกิดและโตของเกรนในรูปร่างเป็นกิ่งไม้ขณะโลหะขณะเกิดการแข็งตัว [7]

ในขณะที่โลหะใกล้แข็งตัวอย่างสมบูรณ์นั้น เกรนซึ่งมีรูปร่างเป็นกิ่งไม้หลายเกรนจะโตชิดกันมากขึ้นจนเกิดโครงข่าย (Network) ในขณะเดียวกันการหดตัวของโลหะในช่วงแข็งตัวจะทำให้เกิดความเค้น ซึ่งความเค้นดังกล่าวประกอบด้วย ความเค้นที่เกิดจากแบบหล่อกระทำกับโลหะที่หดตัว และ ความเค้นที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิ โดยความเค้นทั้งหมดจะสะสมจนจนมีความเข้มข้นสูงสูงเพียงพอจะแยกโครงข่ายของเกรนที่มีรูปร่างเป็นกิ่งไม้ ซึ่งทำให้โลหะผสมตรงบริเวณดังกล่าวเกิดการแยกและขยายตัว จนกลายเป็น รอยร้าวขณะร้อน Pumphrey และคณะ [8-9] สนับสนุนกลไกของดังกล่าวโดยเสนอว่า ปริมาณน้ำโลหะที่ไม่เพียงพอ ทำให้เกรนที่กำลังแข็งตัวให้ตัวได้ยาก ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยร้าวขณะร้อนได้ง่ายเนื่องจากเกรนมีความเปราะเพิ่มขึ้น

2.2 การสะสมของความเครียดเนื่องจากการแข็งตัวของโลหะส่งผลต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อน

Pellini [10] เสนอว่า ขณะโลหะผสมหล่อแข็งตัวในแบบหล่อ ชั้นฟิล์มของโลหะเหลวในระหว่างเกรนจะบางลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณโลหะที่แข็งตัวช้าที่สุด เช่น บริเวณจุดสะสมความร้อนของแบบหล่อ (Hot Spot) ชั้นฟิล์มของโลหะเหลวจะบางลงอย่างมากและกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นในระหว่างการแข็งตัวจะกระทำกับโลหะหลอมเหลวตรงบริเวณดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้โลหะบริเวณดังกล่าวนี้เกิดการยืด หรือ เกิด

ความเครียดขึ้น และเมื่อค่าความเครียดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดรอยร้าวและการขยายตัวของรอยร้าวได้ โดยปริมาณความเครียดที่สะสมตรงบริเวณจุดสะสมความร้อนของชิ้นงานหล่อนั้นขึ้นกับความเร็วในการเย็นตัวของโลหะหล่อ และ ขนาดของจุดสะสมความร้อน โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นงานหล่อเย็นตัวที่มีอัตราการเย็นตัวสูงจะมีความเครียดสะสมที่สูง ซึ่งทำให้ โลหะผสมหล่อนั้นๆ มีความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนต่ำ Campbell [11] เสนอโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความเครียดของโลหะที่มีการปรับสภาพเกรนละเอียดขณะแข็งตัว ณ บริเวณสะสมความร้อนของแบบหล่อ โดยระยะการหดตัวของโลหะเนื่องจากความร้อน (Δl) จะมีความสัมพันธ์กับ ค่าสัมประสิทธิ์ในการขยายหรือหดตัวทางความร้อน (α) ความแตกต่างของอุณหภูมิขณะแข็งตัว (ΔT) และ ความยาวของชิ้นงานหล่อ (L) ซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ของระยะการหดตัวของโลหะเนื่องจากความร้อน แสดงในสมการที่ (1)

$$\Delta l = \alpha \Delta T L \quad (1)$$

ความเครียดที่เกิดขึ้นในโลหะหลอมเหลว ณ จุดสะสมความร้อน (ε) นั้นจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างระยะการหดตัวของโลหะเนื่องจากความร้อน (Δl) ในสมการที่ (1) ต่อความยาวของบริเวณสะสมความร้อนของแบบหล่อ (l) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\varepsilon = \frac{\alpha \Delta T L}{l} \quad (2)$$

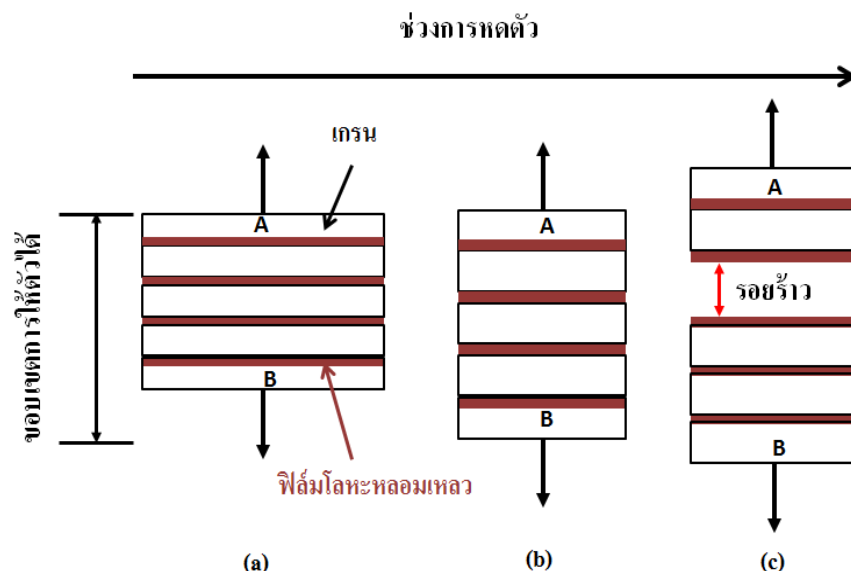
สมมติให้ เกรนของโลหะหลอมเหลวมีขนาดเท่ากันหมด โดยกำหนดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนทุกเกรนมีค่าเท่ากับ a ดังนั้นในช่วงความยาวของบริเวณสะสมความร้อนของแบบหล่อ (l) นั้นมี จำนวนเกรน (N) = l/a และ ความเครียดเฉลี่ยต่อเกรน (ε_b) จะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (3)

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon}{N} = \frac{\alpha \Delta T L a}{l^2} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) จะพบว่า เมื่อเกรนของโลหะละเอียดขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิในการเย็นตัวน้อยลง และ ระยะระหว่างบริเวณสะสมความร้อนแคบลง ค่าความเครียดเฉลี่ยต่อเกรนจะลดลง ดังนั้น ความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสมหล่อนั้นสูงขึ้น [12]

2.3 แรงดึงผิวของฟิล์มโลหะหลอมเหลวส่งผลต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อน

Saveiko [13] เสนอว่าแรงดึงผิวของฟิล์มโลหะหลอมเหลวที่อยู่ระหว่างเกรนนั้นมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อน รูปที่ 2 (a) แสดงถึงโลหะหลอมเหลวขณะแข็งตัว โดยเมื่อการแข็งตัวดำเนินไป จะเกิดแรงเนื่องจากการหดตัวจะกระทำกับโลหะหลอมเหลวที่ ตำแหน่ง A และ B รูปที่ 2 (b) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะหลอมเหลว และ เมื่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้นเกินขอบเขต โลหะหลอมเหลวจะเกิดการแยกตัว ตรงบริเวณที่มีฟิล์มของโลหะหลอมเหลวปรากฏอยู่ ดังรูปที่ 2 (c) ซึ่งการแยกตัวดังกล่าวทำให้เกิดเป็นพื้นผิวใหม่ 2 พื้นผิว นั่นก็คือการเกิดรอยร้าว



รูปที่ 2 แบบจำลองของกลไกการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของ Saveiko [13]

โดยรอยร้าวที่เกิดขึ้นหมายถึงการแยกตัวของฟิล์มโลหะหลอมเหลวที่อยู่ระหว่างเกรนของโลหะผสม เพื่อให้เกิดพื้นผิวใหม่ 2 พื้นผิว ซึ่ง Saveiko ได้ใช้สมการที่ (4) ในการประมาณแรงที่ใช้ในการแยกฟิล์มของโลหะหลอมเหลว (P)

$$P = \frac{2\alpha F}{1000gb} \quad (4)$$

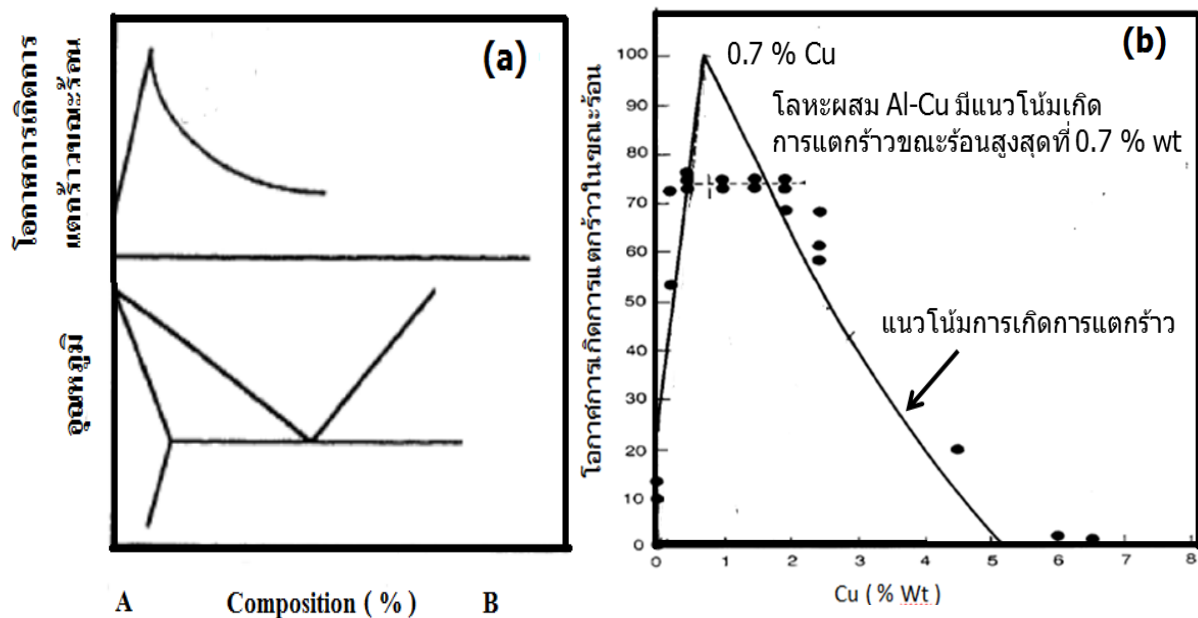
โดย α คือแรงดึงผิวของฟิล์มของโลหะหลอมเหลว F คือพื้นที่ที่ฟิล์มโลหะหลอมเหลวสัมผัสกับเกรนของโลหะ b คือความหนาของฟิล์มโลหะหลอมเหลว และ g คือค่าความเร่งเนื่องจากโน้มถ่วงของโลก

จากสมการที่ (4) จะพบว่าตัวแปรที่สำคัญต่อความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสมคือ ความหนาของฟิล์มโลหะหลอมเหลว โดย Saveiko พบว่า ความหนาของฟิล์มโลหะหลอมเหลวนั้นขึ้นกับขนาดของเกรน หากเกรนที่มีขนาดเล็กหรือโลหะที่มีเกรนละเอียด ฟิล์มโลหะหลอมเหลวจะสามารถไหลไปได้ทั่วถึง ซึ่งลักษณะฟิล์มของโลหะหลอมเหลวของโลหะผสมที่มีเกรนละเอียดจะมีลักษณะบางและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก สมการที่ (4) แรงที่ใช้ในการแยกฟิล์มของโลหะนั้นแปรผกผันกับความหนาของฟิล์มโลหะหลอมเหลว ดังนั้น เมื่อฟิล์มโลหะหลอมเหลวมีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในแบบชั้นบาง โลหะผสมชนิดนั้นจะมีความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนสูงขึ้น

3. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรอยร้าวขณะร้อน

3.1 สัดส่วนของปริมาณธาตุผสม

การแข็งตัวของโลหะผสมหล่อนั้นจะมีช่วงของการแข็งตัว (Freezing Range) ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยความกว้างของช่วงการแข็งตัวนั้นจะขึ้นกับปริมาณธาตุที่ผสมลงไป



รูปที่ 3 (a) ผลของช่วงของการแข็งตัวต่อความเสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อน (b) การเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะ Al-Cu ซึ่งมีโอกาสเกิดสูงสุดที่ 0.7 % Cu [14]

โดยหลักการคือ โลหะผสมที่มีช่วงการแข็งตัวที่กว้าง จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนมากกว่าโลหะผสมที่มีช่วงการแข็งตัวที่แคบกว่า เนื่องจาก โลหะผสมที่มีช่วงการแข็งตัวที่กว้างนั้น เมื่อมีการแข็งตัว โลหะ

ผสมชนิดนั้นจะอยู่ในสภาพกึ่งแข็งและกึ่งเหลวที่นานกว่า ซึ่งสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่รอยร้าวสามารถเกิดขึ้นได้ [14-15] Rosenberg และ Fleming [16] ทำการศึกษา ความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของ โลหะผสม อะลูมิเนียม-ทองแดง พบว่า การเติมธาตุทองแดงมีผลต่อความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสมชนิดนี้ โดยการเติมธาตุทองแดงจะขยายช่วงของการแข็งตัว ซึ่งทำให้ ความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของ โลหะผสม อะลูมิเนียม-ทองแดง ลดลง

ค่าความต้านทานความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนที่น้อยที่สุดของโลหะผสมชนิดนี้จะพบในช่วงของการแข็งตัวที่กว้างที่สุด นอกจากอิทธิพลของความกว้างของช่วงการแข็งตัวแล้ว ปริมาณน้ำโลหะที่มีส่วนผสมเป็นยูเทคติกที่เกิดขึ้นในระหว่างการแข็งตัวของโลหะผสมก็เป็นตัวแปรที่สำคัญในการเกิดรอยร้าวขณะร้อน [17-18] เมื่อปริมาณน้ำโลหะมีส่วนผสมเป็นยูเทคติกที่ปริมาณที่เพียงพอ น้ำโลหะนั้นจะเข้าไปป้อนเติมเกรนของโลหะที่กำลังแข็งตัวได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้ความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนสูงขึ้น

3.2 ขนาดและรูปร่างของเกรน

โลหะผสมที่มีเกรนละเอียด จะมีความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนสูงขึ้น [19-20] แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองของ Warrington และ คณะ [21] ในการศึกษา ความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของ โลหะผสม อะลูมิเนียมเกรด 7010 และ 7050 ที่ไม่เติมและเติม สารทำเกรนละเอียด (Grain Refiner) พบว่า โลหะผสม อะลูมิเนียมเกรด 7010 และ 7050 ที่ไม่เติมสารทำเกรนละเอียด มีลักษณะเกรนแบบเรียวยาว (Columnar Grain) ซึ่งโลหะผสมที่มีรูปร่างเกรนแบบนี้ จะมีความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนต่ำ และ เมื่อเติม สารปรับสภาพเกรนละเอียดลงไป รูปร่างของเกรนในโลหะอะลูมิเนียมผสมจะเปลี่ยนเป็นเกรนที่ลักษณะใกล้เคียงทุกทิศทาง (Equiaxed Grain) แต่ เมื่อเติมสารปรับสภาพเกรนละเอียดมากขึ้น รูปร่างของเกรนเปลี่ยนเป็นแบบผสมระหว่าง เกรนที่ลักษณะใกล้เคียงทุกทิศทาง และ เกรนแบบเรียวยาว ซึ่งทำให้ความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนต่ำลง ดังนั้น การเติมสารทำเกรนละเอียดในโลหะผสมต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รูปร่างเกรนที่เหมาะสม

3.3 อุณหภูมิในการเทน้ำโลหะ

อุณหภูมิเทโลหะผสมหลอมเหลวลงในแบบหล่อสามารถให้ผลได้สองทาง กล่าวคือ อุณหภูมิเทที่สูง มีแนวโน้มที่จะกระจายจุดสะสมความร้อน ซึ่งจะเป็นการลดความเสี่ยงของชิ้นงานในการเกิดรอยร้าว [22] แต่ อุณหภูมิเทที่สูงมากๆ (Superheat) อาจทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงการแข็งตัวของโลหะผสม ส่งผลให้เกิดโลหะแข็งตัวในรูปเกรนที่มีลักษณะเรียวยาว ซึ่งโลหะผสมที่แข็งตัวโดยโครงสร้างแบบนี้จะมีโอกาสการเกิดรอยร้าวขณะร้อน [23]

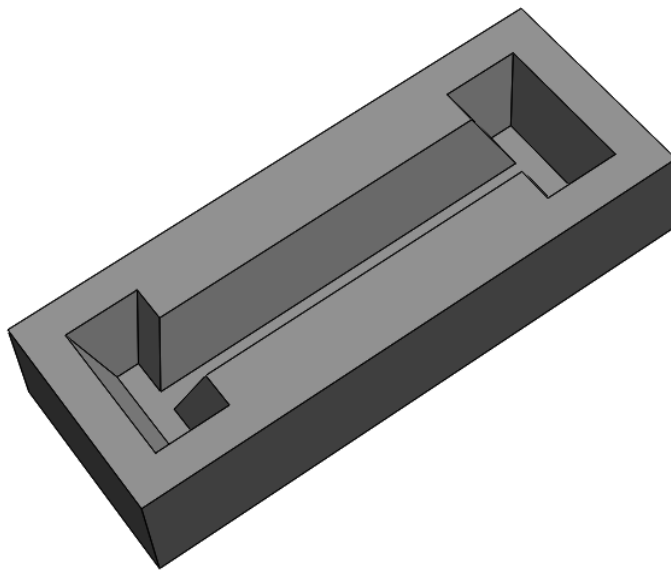
3.4 อุณหภูมิของแบบหล่อ

อุณหภูมิของแบบหล่อนั้นส่งผลต่อโดยตรงต่ออัตราการเย็นตัวของโลหะผสมในแบบหล่อ โดยปกติแล้ว นักโลหวิทยาจะกำหนดอัตราการเย็นตัวของโลหะโดยควบคุมอุณหภูมิของแบบหล่อ [24] ซึ่ง อัตราการ

เย็นตัวจะกำหนดรูปร่างโครงสร้างของโลหะผสมขณะแข็งตัว Zhen และ คณะ [25] ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิของแบบหล่อต่อความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสม แมกนีเซียม-อะลูมิเนียม หล่อ โดยพบว่าการควบคุมอุณหภูมิแบบหล่อให้มีอุณหภูมิที่สูงจะเพิ่มความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสมประเภทนี้ โดยรอยร้าวของโลหะผสมขณะแข็งตัวสามารถเกิดได้ทุกอุณหภูมิ แต่สำหรับอุณหภูมิแบบหล่อที่สูงจะทำให้ โลหะผสมอยู่ในช่วงแข็งตัวที่นานขึ้นและถ้าการป้อนเดมน์น้ำโลหะหลอมเหลวที่มีปริมาณที่เพียงพอ น้ำโลหะหลอมเหลวนั้นจะสามารถเติมรอยแยกของโลหะผสมขณะแข็งตัวได้ ดังนั้น ความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสมจะสูงขึ้น

4. วิธีการทดสอบ

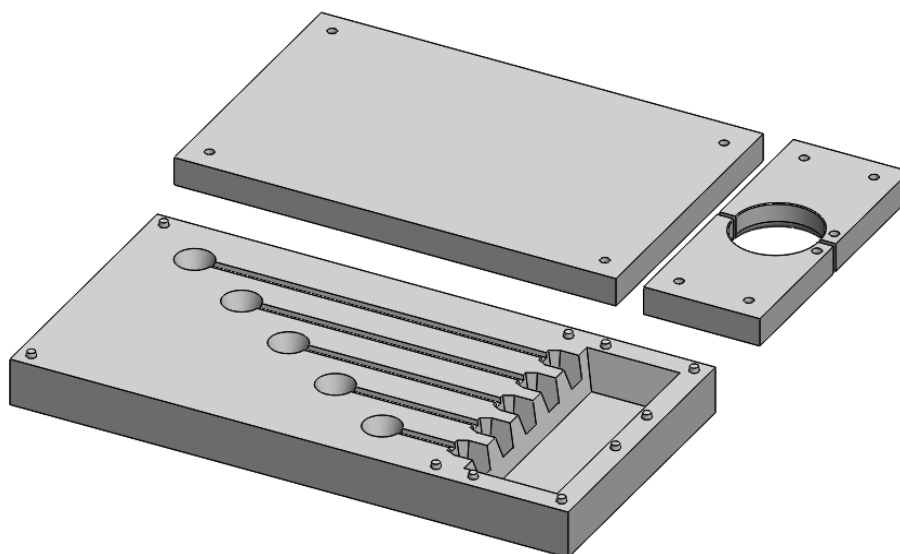
ในการศึกษาปัญหาการเกิดรอยร้าวขณะร้อน นักโลหะวิทยาจะทำการออกแบบอุปกรณ์และเทคนิคต่างๆ เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมการแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสม



รูปที่ 4 การทดสอบโดยแบบหล่อรูปกระดูกสุนัข [27]

โดยหลักการการทดสอบนั้น นักโลหะวิทยาจะจำลองสภาวะที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดรอยร้าวขณะร้อน โดยออกแบบให้แบบหล่อในชุดอุปกรณ์ขัดขวางการหดตัวของชิ้นงานทดสอบในขณะแข็งตัว ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นกระทำต่อชิ้นงานและทำให้ชิ้นงานเกิดรอยร้าวขณะร้อนขึ้น จากนั้นนักโลหะวิทยาจะทำการบันทึกจำนวนรอยร้าว และ ศึกษาลักษณะของรอยร้าว เช่น มิติของรอยร้าว [26] โดยหนึ่งในชุดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการแตกร้าวขณะร้อนที่ได้ใช้กันแพร่หลาย คือ การทดสอบโดยแบบหล่อรูปกระดูกสุนัข (Dog Bones) ซึ่งแสดงใน

รูปที่ 4 สำหรับการทดสอบการแตกร้าวขณะร้อนโดยแบบหล่อรูปกระดุกสุนัขนั้น จะทำได้โดยป้อนเดิมโลหะเหลวลงในแบบหล่อทดสอบ เมื่อโลหะหลอมเหลวไหลเข้าเต็มแบบ การแข็งตัวจะเริ่มจากขอบของแบบหล่อทดสอบ ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นเกิดขึ้นตรงกลางของชิ้นโลหะผสมหล่อ โดยทิศของความเค้นจะตั้งฉากกับทิศของการแข็งตัว [27] นักโลหะวิทยาจะทำการวัดความยาวของรอยร้าว เพื่อระบุความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวของโลหะผสมที่ทดสอบ ในปัจจุบันการทดสอบโดยแบบหล่อรูปกระดุกสุนัขได้มีการดัดแปลงเพิ่มเติมเพื่อให้การทดสอบการแตกร้าวขณะร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในหนึ่งชุดทดสอบประกอบไปด้วยแบบหล่อรูปกระดุกสุนัขที่มีความยาวต่างกัน ดังรูปที่ 5 โดยปกติแล้วรอยร้าวขณะร้อนจะเกิดขึ้นในบริเวณที่ยาวกว่า เนื่องจากโลหะจะมีการหดตัวได้มากขึ้น [28] นักโลหะวิทยาจะตรวจวัดจำนวนรอยร้าว และความยาวของแบบหล่อรูปกระดุกสุนัขที่ไม่เกิดรอยร้าว เพื่อทราบค่าความต้านทานการแตกร้าวของโลหะผสมหล่อชนิดนั้นๆ



รูปที่ 5 การทดสอบโดยแบบหล่อรูปกระดุกสุนัขได้มีการดัดแปลง [28]

5. แนวทางการป้องกันปัญหารอยร้าวขณะร้อน

เนื่องจากปัญหาการเกิดรอยร้าวขณะร้อนในชิ้นงานหล่อ นั้นเกี่ยวข้องกับความเค้นหรือการสะสมของความเครียดของซึ่งเกิดในขณะที่โลหะผสมแข็งตัว นอกจากนี้ปริมาณฟิล์มน้ำโลหะในระหว่างเกรนของโลหะผสมนั้นก็มีส่วนสำคัญต่อการเกิดรอยร้าวเช่นกัน [29] ดังนั้น การแก้ปัญหาลดความรุนแรงของการเกิดรอยร้าวขณะร้อนในชิ้นงานหล่อสามารถทำได้โดยการปรับปรุงการออกแบบชิ้นงานและกรรมวิธีการผลิต โดยทั่วไปนักโลหะวิทยาจะใช้แนวทางดังต่อไปนี้เพื่อลดปัญหาของรอยร้าวขณะร้อน [30-31]

- ปรับปรุงรูปร่างของงานหล่อเพื่อลดการสะสมของความเค้นหรือการเกิดจุดสะสมความร้อน ตัวอย่างเช่น ออกแบบงานหล่อในบริเวณที่มีโอกาสเกิดการสะสมของความเค้นหรือจุดสะสมความร้อนให้มีส่วนโค้ง ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงจุดสะสมความร้อนได้ นักโลหะวิทยาจะใช้ทุ่นเย็นเพื่อลดการสะสมความร้อน ซึ่งจะทำให้โลหะผสมมีความเสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวลดลง
- ปรับลดความแข็งแรงของแบบหล่อ เพื่อให้ลดความเค้นที่กระทำต่อชิ้นงานหล่อในขณะที่แข็งตัว
- การทำเกรนละเอียดในโลหะผสมสามารถทำให้โลหะผสมชนิดนั้นมีความต้านทานการเกิดรอยร้าวขณะร้อนสูงขึ้น เนื่องจาก ค่าความเครียดเฉื่อยต่อเกรนซึ่งกำลังแข็งตัวจะลดลง
- หลีกเลี่ยงอุณหภูมิการเทที่สูงมากๆ เนื่องจาก อุณหภูมิที่สูงมากส่งผลให้เกิดโลหะแข็งตัวในรูปเกรนที่มีลักษณะเรียวยาว ทำให้โลหะผสมที่แข็งตัวมีความเสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อน
- ปรับเปลี่ยนส่วนผสมของโลหะผสมเพื่อให้มีโลหะยูเทคติกมีปริมาณมากขึ้น เพื่อป้องกันเกรนของโลหะผสมขณะแข็งตัว

6. บทสรุป

การแตกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานโลหะผสมหล่อนั้นก่อให้เกิดจุดบกพร่องที่ส่งผลเสียต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมงานหล่อนั้นสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก จากอดีตถึงปัจจุบันได้มีนักโลหะวิทยาจำนวนมากที่ได้ทำการศึกษากลไกการแตกร้าวขณะร้อนของโลหะผสม โดยจะพบว่า ความรุนแรงของการแตกร้าวขณะร้อนนั้นขึ้นกับ ความเค้น และความเครียด ที่เกิดขึ้นในขณะที่โลหะผสมกำลังแข็งตัว และความรุนแรงของการแตกร้าวมักจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณน้ำโลหะเหลวที่ป้อนเดิมนั้นไม่เพียงพอ ดังนั้นการแตกร้าวขณะร้อนของชิ้นงานโลหะผสมหล่อจึงเป็นปัญหาทางโลหะวิทยาของงานหล่อที่ซับซ้อน โดยตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทานการแตกร้าวมักจะขึ้นกับตัวแปรต่างๆ เช่น สัดส่วนของปริมาณธาตุผสม ขนาดและรูปร่างของเกรน อุณหภูมิเท และ อุณหภูมิของแบบหล่อ ในการศึกษาพฤติกรรมของการแตกร้าวมักจะใช้โลหะผสม นักโลหะวิทยาจะทำการสร้างชุดทดสอบซึ่งสามารถจำลองสภาวะที่ทำให้เกิดรอยร้าวขณะร้อน โดยใช้ชิ้นงานหล่อทดสอบนั้นแข็งตัวในอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้เพื่อขัดขวางการหดตัวของโลหะในขณะที่แข็งตัว ซึ่งทำให้โลหะผสมนั้นเกิดรอยร้าว โดยโลหะผสมที่มีรอยแตกร้าวน้อยกว่าจะมีความต้านทานต่อการเกิดรอยร้าวขณะร้อนสูงกว่า ในปัจจุบันนักโลหวิทยานี้ลดความรุนแรงของการแตกร้าวมักจะขึ้นกับการ ปรับการออกแบบ เพื่อลดความเค้น หรือ ลดจุดสะสมความร้อน รวมทั้งการออกแบบให้แบบหล่อมีความแข็งแรงต่ำลงเพื่อให้แบบหล่อให้ตัวได้ในขณะที่โลหะแข็งตัว นอกจากนี้การทำเกรนละเอียด และ ปรับส่วนผสมเพื่อให้มีโลหะยูเทคติกมีปริมาณมากขึ้น รวมทั้งการหลีกเลี่ยงอุณหภูมิการเทที่สูงมาก นั้นช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดรอยร้าวขณะร้อนของโลหะผสมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.A. Flinn, Fundamentals of Metal Casting, Addison Wesley, 1963.
- [2] G. K. Sigworth, "Hot Tearing of Metals," AFS Trans, Vol. 104, pp. 1053-1062, 1996.
- [3] C. Limmaneevichitr, A. Saisiang, and S. Chanpum, "The Role of Grain Refinement on Hot Crack Susceptibility of Aluminum Alloy Permanent Mold Castings," Proceedings of the 65th World Foundry Congress, 2002.
- [4] E.J. Gamber, "Hot Cracking Test for Light Metal Casting Alloys," Trans. AFS., Vol. 67, p. 237, 1959.
- [5] C. Davidson, D. Viano, L. Lu, D. StJohn, "Observation of Crack Initiation during Hot Tearing," International Journal of Cast Metals Research, Vol. 19, pp. 59-65, 2006.
- [6] J. Verö, "The Hot-Shortness of Aluminum Alloys," The Metals Industry, Vol. 48, pp. 431-434, 1936.
- [7] K.A. Jackson, J.D. Hunt, D.R. Uhlman, T.P. Seward, "On the origin of the equiaxed zone in casting," Trans.Metall.Soc.AIME, Vol. 236, pp.149-158, 1966.
- [8] W. I. Pumphrey and P. H. Jennings, "A Consideration of the Nature of Brittleness at Temperature above the Solidus in Castings and Welds in Aluminum Alloys," J. Inst. Metals, Vol. 75, p. 235, 1948.
- [9] W. I. Pumphrey and J. V. Lyons, "Cracking during the Casting and Welding of the More Common Binary Aluminum Alloys," J. Inst. Met., Vol. 118, pp. 439-455, 1948.
- [10] W. S. Pellini, "Strain Theory of Hot Tearing," Foundry, Vol. 80, pp. 125-199, 1952.
- [11] J. Campbell, Castings, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1991.
- [12] J. Campbell, Castings, 2nd Edition Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.
- [13] V.N. Saveiko, "Theory of Hot Tearing," Russian Casting Production, Vol. 11, p.453, 1961.
- [14] S. Li and D. Apelian, "Hot Tearing of Aluminum Alloys: A Critical Literature Review." International Journal of Metalcasting, Vol. 5, pp. 23-40, 2011.
- [15] C. Limmaneevichitr, A. Saisiang, and S. Chanpum, "The Role of Grain Refinement on Hot Crack Susceptibility of Aluminum Alloy Permanent Mold Castings," Proceedings of the 65th World Foundry Congress, 2002.
- [16] R.A. Rosenberg, M.C. Flemings, and H.F. Taylor, "Nonferrous Binary Alloys HotTearing,," AFS Transactions. Vol. 69, pp. 518-528, 1960.
- [17] R. A. Dodd, W. A. Pollard and J. W. Meier, "Hot Tearing of Magnesium Casting Alloys," AFS Trans, Vol. 65, pp. 100-118, 1957.
- [18] E. Niyama, "Some Considerations on Internal Cracks in Continuously Cast Steel," Proceedings Japan-US Joint Seminar on Solidification of Metals and Alloys, pp 271-282, 1977.

- [19] V. de L. Davies, "The Influence of Grain Size on Hot Tearing," British Foundryman, pp. 93-101, 1970.
- [20] M. Easton, J. Grandfield, D. StJohn, B. Rinderer, "The Effect of Grain Refinement and Cooling Rate on the Hot Tearing of Wrought Aluminum Alloys," Materials Science Forum, Vol. 30, pp. 1675-1680, 2006.
- [21] D. Warrington and D. G. McCartney, "Hot-Cracking in Aluminum Alloys 7050 and 7010 – a Comparative Study," Cast Metals, Vol. 3(4), pp. 202-208, 1991.
- [22] A. Couture and J. O. Edwards, "The Hot-Tearing of Copper-Base Casting Alloys," AFS Trans, Vol. 74, pp. 709-721, 1966.
- [23] C.W. Briggs, 1946, McGraw-Hill, (London), pp. 317-338.
- [24] T. W. Clyne and G. J. Davies, "A Quantitative Solidification Test for Casting and an Evaluation of Cracking in Aluminium-Magnesium Alloys," The British Foundrymen, Vol. 68, pp. 238-244, 1975.
- [25] Z. Zhen, N. Hort and O. Utke, "Investigations on Hot Tearing of mg-Al Binary Alloys by using a New Quantitative Method," Magnesium Technology, 2009.
- [26] S. Oya, U. Honma, T. Fujii and M. Othaki, "Evaluation of Hot Tearing in Binary Al-Cu and Al-Si Alloy Castings," Aluminum, Vol. 60, pp. 777-779, 1984.
- [27] D.G. Eskin, Suyitno and L. Katgerman, "Mechanical Properties in the Semi-solid State and Hot Tearing of Aluminum Alloys," Progress in Materials Science, Vol. 49, pp. 629-711, 2004.
- [28] A.RE. Singer and P.H. Jennings, "Hot-Shortness of The Aluminium-1043 Silicon Alloys of Commercial Purity," J. Inst. Metals, Vol. 72, pp.197-211, 1946.
- [29] S. Li, K. Sadayappan and D. Apelian, "Role of Grain Refinement in the Hot Tearing of Cast Al-Cu Alloy," Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 44, pp. 614-623, 2013.
- [30] J. Campbell, Castings Practice: The Ten Rules of Castings (Oxford, United Kingdom: Butterworth Heinemann, 2004).
- [31] J. Campbell, Casting Practice-Guidelines for Effective Production of Reliable Casting, ASM Handbook, Vol.15, Casting, P.497, 2008.