

อิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงต่อการกระจายตัว และขนาดของรูพรุนในสังกะสีผสม

อภิรัฐ โกสิตานนท์¹⁾ สิริพร โรจนนันต์^{*2)} สุรศิษฐ์ โรจนนันต์³⁾ สมพงษ์ ศรีมโนเสาวภาคย์⁴⁾

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงที่มีผลต่อการกระจายตัวและขนาดของรูพรุนของชิ้นงานสังกะสีผสมหล่อด้วยแม่พิมพ์ยางซิลิโคนทนความร้อน ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิหล่อ ความเร็วรอบในการเหวี่ยง ความยาวทางวิ่งและขนาดทางเข้าของน้ำโลหะ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ และเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SigmaScan® ผลการวิจัยสรุปว่า เมื่อใช้อุณหภูมิหล่อสูงส่งผลให้สัดส่วนของพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นและขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้ความเร็วรอบในการเหวี่ยงเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดมีค่าลดลง และรูพรุนมีขนาดเล็กลง การเพิ่มความยาวทางวิ่งของน้ำโลหะส่งผลให้จำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่รูพรุนที่พบมีขนาดเล็กลง ส่วนการลดขนาดทางเข้าทำให้น้ำโลหะไหลเข้าอย่างช้าๆ ส่งผลให้จำนวนรูพรุนและสัดส่วนของพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดจากรูพรุน

คำสำคัญ : การหล่อแบบหมุนเหวี่ยง เทคนิคการวิเคราะห์จากภาพ รูพรุน สังกะสีผสม

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140 อีเมลล์: gositanon.a3@hotmail.com

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140 อีเมลล์: siriporn.roj@kmutt.ac.th

³⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140 อีเมลล์: surasit.roj@kmutt.ac.th

⁴⁾ นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120 อีเมลล์: sompongs@mttc.or.th

* Corresponding Author.

The Effect of Spin Cast Parameters on Porosity and Pore Size Distribution in Zinc Alloy

Apirath Gositanon ¹⁾ Siriporn Rojananan ^{*2)} Surasit Rojananan ³⁾ Sompong Srimanosawapak ⁴⁾

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of temperature, rotational speed, runner and gate size on porosity and pore size distribution in zinc alloy spin castings using rubber molds made of a high temperature resistant grade. Porosity in casting specimens was quantified using SigmaScan® image analysis software. Experimental results show that an increase in casting temperature results in the increase of porosity and pore size. As rotational speed increased, porosity and pore size decrease. Longer runner increases pore number but decreases average pore size. A decrease in gate size results in the decrease of feeding velocity of molten metal and therefore decreases porosity. So, it could be useful in the spin casting industrial for setting the casting parameters to eliminate porosity defects.

Keywords: Image analysis, porosity defect, spin casting, zinc alloy

¹⁾ Graduate Student, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140,
E-mail: gositanon.a3@hotmail.com

^{*2)} Asst. Prof., Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140,
E-mail: siriporn.roj@kmutt.ac.th

³⁾ Asst. Prof., Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, E-mail: surasit.roj@kmutt.ac.th

⁴⁾ Researcher, MTEC, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani 12120, Email: sompongs@mtec.or.th

* Corresponding Author.

1. บทนำ

ข้อบกพร่องลักษณะเป็นรูพรุน (Porosity Defect) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหล่อโลหะ เกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการได้แก่ 1) รูพรุนที่เกิดเนื่องจากก๊าซ (Gas Porosity) ที่ละลายในขณะหล่อโลหะไหล เมื่อโลหะแข็งตัว ซึ่งมีความสามารถในการละลายก๊าซลดลง จึงทำให้ก๊าซก่อตัวขึ้น และถูกกักขังอยู่ภายใน จึงเกิดเป็นรูที่มีลักษณะกลม และมีผิวเรียบ 2) รูพรุนที่เกิดจากการหดตัวของโลหะในขณะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง (Shrinkage Porosity) มักมีรูปร่างไม่แน่นอน และมีผิวขรุขระ (Prakash, 2005) ซึ่งรูพรุนดังกล่าวเป็นปัญหาที่ผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรมไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เนื่องจากส่งผลให้สมบัติทางกลลดลง เช่น ความเหนียว ความต้านแรงดึง และความต้านทานการล้า เป็นต้น ซึ่งบางครั้งรูพรุนอาจเป็นสาเหตุนำไปสู่อุบัติเหตุได้ (Chadha et al., 2004) ยิ่งไปกว่านั้น งานที่ต้องการแสดงผิวขัดเงา รูพรุนที่มีขนาดใหญ่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า จะส่งผลให้ความสวยงามลดลง และไม่ได้คุณภาพตามต้องการ เป็นปัญหาลำคัญที่ทำให้ผู้ผลิตเสียค่าใช้จ่ายมากในการแก้ไข อย่างไรก็ตามลักษณะและขนาดของรูพรุนดังกล่าว มีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับชนิดของโลหะ วัสดุผสมของโลหะ และกระบวนการหล่อ อีกทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการหล่อ เช่น อุณหภูมิหล่อ และอัตราการเย็นตัว เป็นต้น (Rao, 1999)

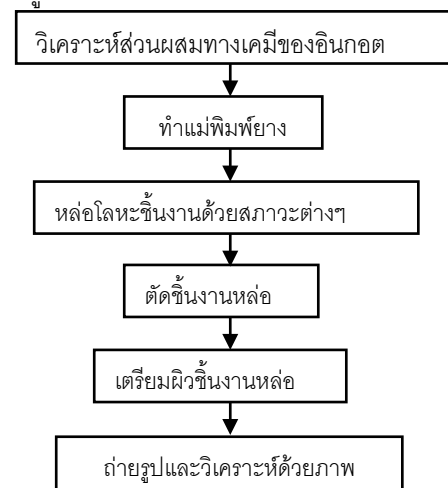
ปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์จากภาพ (Image Analysis) ได้เข้ามามีบทบาทในการช่วยวิเคราะห์รูพรุนที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อ ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว เห็นได้จากหลายงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Lee และคณะ (2006) ได้ศึกษาการเกิดรูพรุนในโลหะแมกนีเซียมผสม AM50 ในกระบวนการหล่อความดันสูง ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จากภาพ พบว่าการใช้อุณหภูมิหล่อที่สูงเกินไป เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ขนาดและปริมาณของรูพรุนเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งการใช้ความเร็วในการฉีดสูง ส่งผลให้รูพรุนเพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Prakash (2005) ได้ศึกษาการเกิดรูพรุนของแมกนีเซียมผสม AZ91 โดยการ

จำแนกรูพรุนที่เกิดจากแก๊สและการหดตัว พบว่า รูพรุนที่เกิดจากการหดตัว มีจำนวนน้อยกว่า มีขนาดเล็กกว่า และมีค่าร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมด (Area Fraction) น้อยกว่ารูพรุนที่เกิดจากแก๊ส เป็นต้น และงานวิจัยของ VanderBoon (2005) ศึกษาผลของอัตราการแข็งตัวต่อการเกิดรูพรุนของอะลูมิเนียมผสม A356 พบว่า อัตราการเย็นตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง แต่จำนวนรูพรุนมีเพิ่มมากขึ้น

ในส่วนของกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง เป็นกระบวนการหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อผลิตชิ้นงานหล่อที่มีความหนาแน่นสูง และลดรูพรุนที่เกิดขึ้น โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของแม่พิมพ์จากการหมุน (Schey, 1999) แต่บางครั้งยังพบรูพรุนเกิดขึ้นได้ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาไม่พบการศึกษาเรื่องดังกล่าว จึงควรศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวและขนาดของรูพรุน งานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วรอบในการเหวี่ยง ความยาวทางวิ่งและขนาดทางเข้าของน้ำโลหะ ในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงของสังกะสีผสม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จากภาพ สำหรับวัดการกระจายตัวและขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมในการเลือกใช้ปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดจากรูพรุน และเป็นแนวทางในการทำวิจัยชิ้นงานที่มีรูปร่างอื่น ที่มีความซับซ้อนหรือชิ้นงานเครื่องประดับจริง ต่อไปในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงเป็นกราฟไหลของงานในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังการไหลของงาน

2.1 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

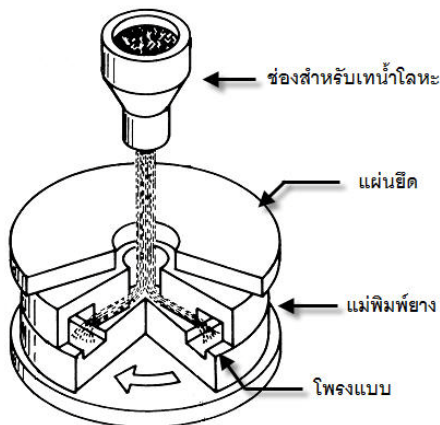
วัตถุดิบที่ใช้เป็นสังกะสีผสมนำเข้ามาจากประเทศเบลเยียมในสภาพอินกอต ในที่นี้ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค Emission Spectroscopy รุ่น ARL 4460

2.2 ทำแม่พิมพ์ยาง

แม่พิมพ์ที่ใช้ทำจากยางซิลิโคนทนความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร กำหนดให้ตัวอย่างชิ้นงานหล่อมีขนาด 10x20x2 มิลลิเมตร³ ความหนาของทางเข้ามีขนาด 2 มิลลิเมตรเท่ากันทุกชิ้น

2.3 การหล่อชิ้นงาน

ลักษณะการทำงานของกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง

แม่พิมพ์ยางถูกออกแบบให้ตรงกลางของโพรงด้านบนมีช่องสำหรับเติมน้ำโลหะ มีแผ่นยึด ประกบพิมพ์ด้านบนและด้านล่าง การเทน้ำโลหะจะเทในขณะที่แม่พิมพ์กำลังหมุนด้วยความเร็วที่กำหนด ในที่นี้ใช้ 400 และ 500 รอบต่อนาที แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากการหมุนของแม่พิมพ์ที่เกิดขึ้น จะช่วยผลักดันน้ำโลหะจากบริเวณ

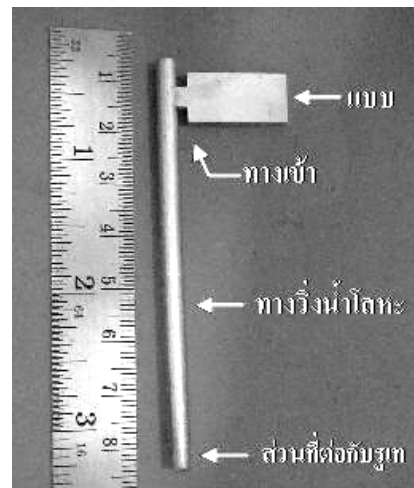
รูปที่ 1 ผังการไหลของงาน (Runner) และผ่านทางเข้าไปยังโพรงแบบ (Cavity) ใช้เวลาคงที่ 60 วินาที จึงหยุดหมุนแม่พิมพ์และนำชิ้นงานออก

พารามิเตอร์ที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 1 กำหนดชื่อชิ้นงานด้วยอักษร A ถึง E การหล่อทำภายใต้การหมุนเหวี่ยงในบรรยากาศปกติ ลักษณะชิ้นงานที่ได้แสดงดังรูปที่ 3

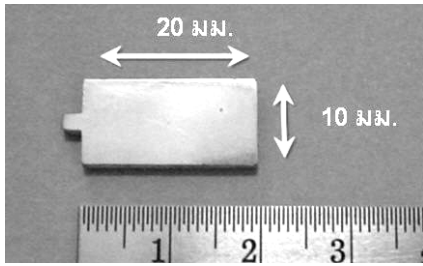
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการหล่อ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ เท (°C)	ความเร็ว รอบ (rpm)	ความ ยาว ทางวิ่ง (mm)	หมายเหตุ*
A	420	400	60	2 : 5
B	460	400	60	2 : 5
C	420	500	60	2 : 5
D	420	400	80	2 : 5
E	420	400	60	1 : 5

หมายเหตุ* ขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าต่อพื้นที่ หน้าตัดของชิ้นงาน



รูปที่ 3 ชิ้นงานที่ได้หลังการหล่อ



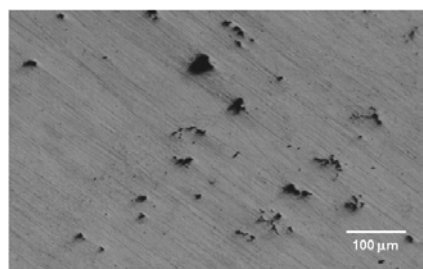
รูปที่ 4 ตัวอย่างชิ้นงานหล่อ

2.4 การเตรียมผิวชิ้นงานหล่อ

ตัดชิ้นงานหล่อที่ตำแหน่งทางเข้า ได้ชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4 การเตรียมผิวชิ้นงาน เริ่มจากขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 และขัดต่อด้วยผงอะลูมินาขนาด 1 และ 0.05 ไมครอน ตามลำดับทำความสะอาดและเป่าให้แห้ง ตัวอย่างชิ้นงานหล่อที่ใช้ในการวิเคราะห์รูพรุนไม่ผ่านการกัดกรด หลังจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์รูพรุนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

2.5 การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

นำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวแล้ว ไปถ่ายภาพตลอดทั้งชิ้นงาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง Olympus BX 60M ซึ่งใช้หลักการสะท้อนแสง บริเวณที่เป็นหลุมจะเกิดเป็นสีดำ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5 หลังจากนั้นจึงวัดปริมาณรูพรุนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ โดยใช้โปรแกรม SigmaScan® ProV.5 เริ่มจากนำภาพถ่ายไปแปลงเป็นสีเทา 8 บิต (8-Bit Gray Scale Image) จากนั้นตั้งค่าโปรแกรมโดยกำหนดให้สแกนส่วนที่เป็นพื้นที่สีดำ (Black Area) ที่มีขนาดพื้นที่ใหญ่กว่า 1 ตารางไมโครเมตร บันทึกข้อมูล



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ

3. ผลการทดลองและบทวิเคราะห์

3.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุดิบ

ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอินกอตสังกะสีผสมด้วยเทคนิค Emission Spectroscopy ทำการวิเคราะห์ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย พบว่าสังกะสีผสมมีปริมาณอะลูมิเนียม ทองแดง และแมกนีเซียมร้อยละ 4.04, 3.09 และ 0.53 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสามารถเรียกสั้นๆ ว่า Zn-4.0Al-3.1Cu-0.5Mg ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานของ ASTM B952M-09 เป็นมาตรฐานสำหรับสังกะสีผสมที่ใช้ในการหล่อเหวี่ยงด้วยแม่พิมพ์ยางซิลิโคนทนความร้อน โดยทั่วไปการเติมอะลูมิเนียมในสังกะสีช่วงร้อยละ 3.5-4.3 โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มสมบัติการไหลตัวของน้ำโลหะในขณะที่หล่อ และเพิ่มความแข็งแรง ส่วนการเติมทองแดงในช่วงร้อยละ 1.0-3.5 โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความต้านแรงดึงและความแข็ง ส่วนการเติมแมกนีเซียมปริมาณเล็กน้อย เพื่อป้องกันการกัดกร่อนระหว่างเกรน (Intergranular Corrosion) และลดการเกิดผิวของชิ้นงานไม่เรียบ (Orange Peel Effect) หลังการหล่อ (Savaskan, 2003) นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมียังพบตะกั่ว แคดเมียม เหล็กและนิกเกิล ในปริมาณที่ต่ำซึ่งไม่เกินตามมาตรฐานกำหนด

3.2 ผลการทดสอบการกระจายตัวและขนาดของรูพรุน

ผลการทดสอบการกระจายตัวและขนาดของรูพรุนของชิ้นงานหล่อเหวี่ยงสังกะสีผสมด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าตัวอย่าง B มีจำนวนรูพรุนเกิดมากที่สุดและตัวอย่าง C มีรูพรุนน้อยที่สุด รูพรุนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการหดตัวของโลหะ เนื่องจากมีรูปร่างไม่แน่นอน และมีผิวขรุขระ ส่วนพื้นที่รูพรุนเฉลี่ยพบว่าตัวอย่าง A มีมากที่สุด และตัวอย่าง D เกิดน้อยที่สุด การอธิบายถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการกระจายตัว และขนาดของรูพรุน จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

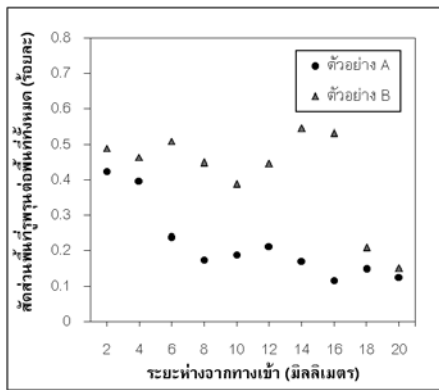
ตารางที่ 2 ผลการทดลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จากภาพ

ตัวอย่าง	จำนวนรูพรุนทั้งหมด (รู)	พื้นที่รูพรุนทั้งหมด (μm^2)	พื้นที่รูพรุนเฉลี่ย (μm^2)
A	922	57629	62.50

B	2094	109805	52.43
C	915	28937	31.62
D	973	28220	29.00
E	677	32211	47.58

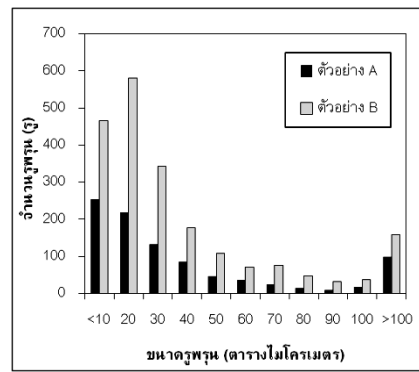
3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง A และ B กำหนดให้มีอุณหภูมิห้องที่ 420 และ 460 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกำหนดให้มีความเร็วรอบในการเหวี่ยงเท่ากับ 400 รอบต่อนาที ที่ความยาวทางวิ่งเท่ากับ 60 มิลลิเมตร และขนาดความกว้างทางเข้าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร รูปที่ 6 แสดงค่าสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมด ที่ระยะห่างจากทางเข้า 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่าง A และ B จากผลการทดลองพบว่าที่ระยะห่างจากทางเข้าเดียวกัน ตัวอย่าง A มีค่าสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมด และขนาดรูพรุน น้อยกว่าตัวอย่าง B และที่ระยะห่างจากทางเข้าตั้งแต่ 6 มิลลิเมตร ถึง 16 มิลลิเมตร ตัวอย่างทั้งสองมีค่าสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมาก



รูปที่ 6 ค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่าง A และ B

รูปที่ 7 แสดงจำนวนรูพรุนของตัวอย่าง A และ B ที่ขนาดต่างๆ ตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 10 ตารางไมโครเมตร ขนาด 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 และมากกว่า 100 ตารางไมโครเมตร



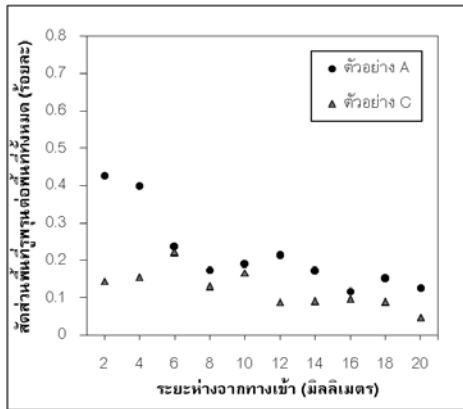
รูปที่ 7 จำนวนรูพรุนของตัวอย่าง A และ B

จากผลการทดลองนี้พบว่า ตัวอย่าง B มีจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้นในทุกขนาด โดยเฉพาะขนาด 10 และ 20 ตารางไมโครเมตร มีมากที่สุดที่ 465 และ 581 รูตามลำดับ และมีรูที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ตารางไมโครเมตร ถึง 159 รู

ผลการวิจัยดังกล่าว สอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา (Prakash, 2005; Lee, 2006; Lei, 2011) ซึ่งพบว่า อุณหภูมิห้องที่สูงมีผลให้รูพรุนที่เกิดจากก๊าซและการหดตัวเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากออกซิเจนและไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถละลายเข้าสู่โลหะเหลวได้ดีที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เมื่อโลหะเย็นตัวลง ก๊าซเหล่านี้แยกตัวออกจากโลหะและคงอยู่ในเนื้อโลหะ อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงสถานะของเหลวกลายเป็นของแข็งที่มีช่วงที่กว้าง ส่งผลให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นอีกด้วย

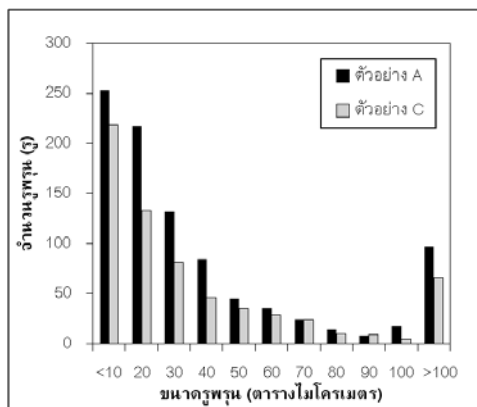
3.4 อิทธิพลของความเร็วยุโรปในการเหวี่ยง

ตัวอย่าง A และ C กำหนดให้มีความเร็วยุโรปในการเหวี่ยงที่ 400 และ 500 รอบต่อนาที ตามลำดับ และกำหนดให้มีความเร็วรอบในการเหวี่ยงเท่ากับ 420 องศาเซลเซียส ที่ความยาวทางวิ่งเท่ากับ 60 มิลลิเมตร และขนาดความกว้างทางเข้าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าตัวอย่าง C มีค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง โดยเฉพาะบริเวณใกล้ทางเข้า (2-4 มิลลิเมตร)



รูปที่ 8 ค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่าง A และ C

จากรูปที่ 9 พบว่า ตัวอย่าง C มีแนวโน้มจำนวนรูพรุนลดลง โดยที่รูขนาด 10 และ 20 ตารางไมโครเมตร มีจำนวนเพียง 218 และ 133 รู ตามลำดับ



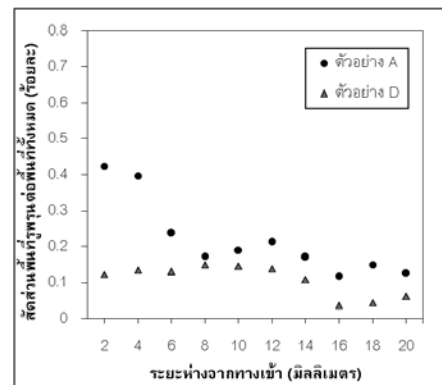
รูปที่ 9 จำนวนรูพรุนของตัวอย่าง A และ C

จากอิทธิพลของการเพิ่มความเร็วรอบในการเหวี่ยง ส่งผลให้พื้นที่และจำนวนรูพรุนลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วเหวี่ยงเป็นการเพิ่มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะเกิดแรงอัดที่ชิ้นงานในขณะหล่อ ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานหล่อเพิ่มมากขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นจากก๊าซและการหดตัวจึงเกิดได้เล็กน้อยเท่านั้น (Chirita, 2008; Vergara, 1997)

3.4 อิทธิพลของความยาวทางวิ่งของน้ำโลหะ

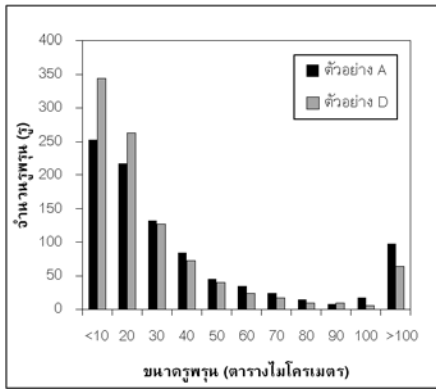
ตัวอย่าง A และ D กำหนดให้มีความยาวทางวิ่งน้ำโลหะที่ 60 และ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ และกำหนดให้มี

อุณหภูมิหล่อเท่ากันที่ 420 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการเหวี่ยงเท่ากันที่ 400 รอบต่อนาที และขนาดทางเข้าเท่ากันที่ 6 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า ที่ระยะห่างจากทางเข้า 2 และ 4 มิลลิเมตร (บริเวณใกล้ทางเข้า) ของตัวอย่าง D มีค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดน้อยกว่า ตัวอย่าง A มาก เมื่อเปรียบเทียบกับ ที่ระยะห่างตั้งแต่ 6 ถึง 20 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดน้อยกว่า ตัวอย่าง A เพียงเล็กน้อยเท่านั้นดังแสดงใน รูปที่ 10



รูปที่ 10 ค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่าง A และ D

จากรูปที่ 11 พบว่าจำนวนรูพรุนที่มีขนาดน้อยกว่า 30 ตารางไมโครเมตร ของตัวอย่าง D มีค่ามากกว่าของตัวอย่าง A ในทางตรงกันข้าม จำนวนรูพรุนที่มีขนาดมากกว่า 30 ตารางไมโครเมตร ของตัวอย่าง D มีค่าน้อยกว่าของตัวอย่าง A

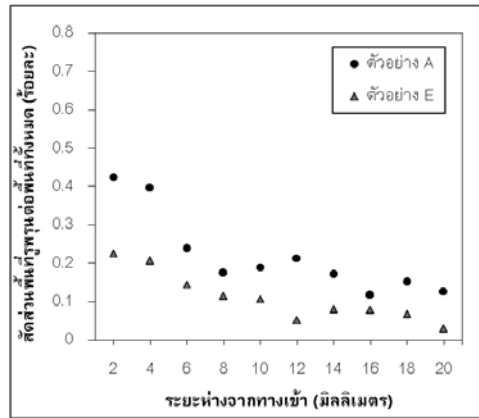


รูปที่ 11 จำนวนรูพรุนของตัวอย่าง A และ D

จากอิทธิพลของการเพิ่มความยาวทางวงของน้ำไหลจะส่งผลให้ร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง ถึงแม้ว่าจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่จำนวนรูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก เห็นได้จากค่าเฉลี่ยของพื้นที่รูพรุนต่อหนึ่งรูมีค่าลดลง (จากตารางที่ 2) และรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 30 ตารางไมโครเมตร มีจำนวนสูงมาก ทั้งนี้ที่ตำแหน่งการวางชิ้นงานของตัวอย่าง D มีระยะห่างจากรูเทมามากกว่า ซึ่งบริเวณนั้นมีความร้อนสะสมอยู่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง A ส่งผลให้มีอัตราการเย็นตัวเร็วกว่า อีกทั้งได้รับผลของแรงเหวี่ยงที่มากขึ้น จากตำแหน่งของรัศมีที่มากขึ้น (Zhongjie, 2004)

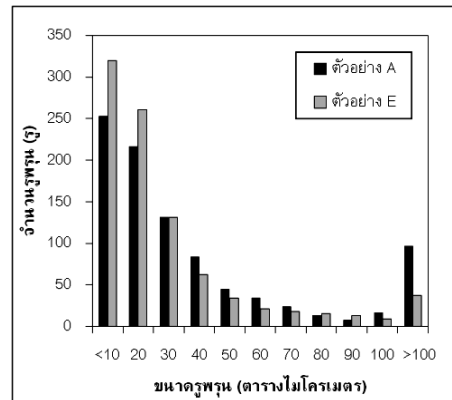
3.5 อิทธิพลของขนาดทางเข้า

ตัวอย่าง A และ E กำหนดให้มีขนาดทางเข้าน้ำไหลอยู่ที่ 6 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ และกำหนดให้มีอุณหภูมิไหลเท่ากันที่ 420 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วเหวี่ยงเท่ากันที่ 400 รอบต่อนาที และระยะทางวงน้ำไหลเท่ากันที่ 60 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่าง E มีค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่าง A มากเมื่อเปรียบเทียบกับ ที่ระยะห่างตั้งแต่ 6 ถึง 20 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่าง A เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ค่าร้อยละของสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่าง A และ E

จากรูปที่ 13 พบว่ารูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 30 ตารางไมโครเมตร ตัวอย่าง E จะมีจำนวนรูพรุนมากกว่าตัวอย่าง A ในทางตรงกันข้ามรูพรุนที่มีขนาดมากกว่า 30 ตารางไมโครเมตร ตัวอย่าง E จะมีรูพรุนน้อยกว่าตัวอย่าง A



รูปที่ 13 จำนวนรูพรุนของตัวอย่าง A และ E

จากอิทธิพลของขนาดทางเข้า เห็นได้ว่าทางเข้าขนาดใหญ่ (ตัวอย่าง A) มีอัตราการไหลเข้าของน้ำไหลที่สูง อันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงของแม่พิมพ์เป็นตัวแปรที่ช่วยผลักดันน้ำไหลเข้าสู่โพรงแบบเร็วขึ้น ซึ่งมีโอกาสเกิดการไหลอย่างปั่นป่วน (Turbulent Flow) มากกว่าการไหลเข้าโพรงแบบอย่างช้าๆ ส่งผลให้มีจำนวนรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองมีลักษณะเดียวกับงานวิจัย (Lee et al., 2006) ที่ผ่านมา ในการศึกษากระบวนการหล่อความดันสูง พบว่าการใช้ความเร็วในการฉีดสูง ส่งผลให้จำนวนรู

พรุนเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปพบว่า การลดอุณหภูมิหล่อและเพิ่มความเร็วยุโรปในการเหวี่ยง ส่งผลให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และการลดอุณหภูมิหล่อ เพิ่มความเร็วยุโรปในการเหวี่ยง เพิ่มความยาวทางวิ่ง และลดขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ส่งผลให้สัดส่วนของพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4. สรุปผลการทดลอง

1. การใช้อุณหภูมิหล่อสูง ส่งผลให้มีจำนวนรูพรุนมากขึ้น ร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น

2. การเพิ่มจำนวนรอบในการเหวี่ยง จำนวนรูพรุนลดลงเล็กน้อย ร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง และรูพรุนมีขนาดเล็กลง

3. การเพิ่มความยาวทางวิ่งของน้ำโลหะส่งผลให้ร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง จำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และรูพรุนขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 30 ตารางไมโครเมตร) เพิ่มขึ้น และรูพรุนขนาดใหญ่ (มากกว่า 30 ตารางไมโครเมตร) มีแนวโน้มลดลง

4. การลดขนาดทางเข้าของน้ำโลหะส่งผลให้ร้อยละสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่ทั้งหมดลดลง จำนวนรูพรุนลดลง และรูพรุนขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 30 ตารางไมโครเมตร) เพิ่มขึ้น และรูพรุนขนาดใหญ่ (มากกว่า 30 ตารางไมโครเมตร) มีแนวโน้มลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทุนโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สัญญาเลขที่ MN 01-53-40 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และบริษัท สยามแพชั่นจิวเวลรี่ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และอุปกรณ์ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

Chadha, G., Prasanna, B., and Regener, D.

(2004). The role of microstructure and porosity in ductility of die cast AM50 and AM60 magnesium alloys, *Chemistry and Materials Science*, Vol. 38, No. 2, 286-297.

Chirita, G., Soares, D. and Silva, F.S.

(2008). Advantages of the centrifugal casting technique for the production of structural components with Al-Si alloys. *Materials & Design*. Vol. 29, 20-27.

Lee, S.G., Gokhale, A.M., Patel, G.R. and

Evans, M. (2006), Effect of process parameters on porosity distributions in high-pressure die-cast AM50 Mg alloy, *Materials Science and Engineering*. Vol. 427, 99-111.

Prakash, D.G. (2005). Computational

microstructure analyzing technique for quantitative characterization of shrinkage and gas pores in pressure die cast AZ91 magnesium alloys. *Materials & Design*. Vol. 32, 4211-4217.

Rao, P.N. (1999). *Manufacturing Technology*, McGraw-Hill.

Savaskan, T., Hekimoglu, A.P. and Purcek,

G. (2003). Effect of copper content on the mechanical and sliding wear properties of monotectoid-based zinc-aluminium-copper alloys. *Tribology International*. Vol. 37, 45-50.

Schey, J.A. (1999). *Introduction to*

manufacturing processes, McGraw-Hill.

Lei, Z., Hengcheng, L., Ye, P., Qigui, W.

and Guoxiong, S. (2011). In-situ observation of porosity formation during directional solidification of Al-Si casting alloys. *Materials Technology*. Vol. 8, No. 1, 14-18.

- VanderBoon, D. (2005). Effects of solidification rate on porosity formation and cast microstructure in aluminum alloy A356. *Materials Science & Engineering*.
- Vergara, V.E. and Salazar, N.V. (1997). Centrifuged casting of a copper alloy using ceramic moulds. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 63, 765-769.
- Zhongjie, H. and Jordaan, G.D. (2004). Galerkin finite element analysis of spin casting cooling process. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 24, 95-110.