

แม่พิมพ์แบบมีท่อหล่อเย็นเจาะเป็นรูโค้งชนิดผิว Mold with Conformal Cooling Channels

คุณยุต เอี่ยมสะอาด^{1*} กิตตินาถ วรรณิสสร² วรัทยา ธรรมกิตติภพ¹ เลิศ ทองเจือ¹
พงษ์ศักดิ์ รุจิพิช¹ และ วสันต์ ขอดคำ¹

¹ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ภาควิชาอาชีวศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : fengkye@ku.ac.th *



แม่พิมพ์เป่าแบบมีท่อหล่อเย็นเจาะเป็นรูโค้งชนิดผิวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อที่จะลดเวลาที่ใช้ในหนึ่งวงรอบการผลิต และเพิ่มอัตราการผลิต นอกเหนือจากข้อดีที่กล่าวข้างต้นแล้วอุณหภูมิยังมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวแม่พิมพ์มากกว่าแม่พิมพ์ที่ใช้การหล่อเย็นแบบทั่วไปจากข้อมูลที่ได้จากงานก่อนหน้านี้รวมทั้งผลการคำนวณอัตราการดึงความร้อนออกจากผิวแม่พิมพ์ที่ได้จากการจำลองแบบเสมือน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันไม่มีการผลิตใดที่สามารถผลิตแม่พิมพ์ที่มีท่อหล่อเย็นเจาะเป็นรูโค้งชนิดผิวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่พิมพ์ที่สร้างได้จากกระบวนการเติมเนื้อโลหะที่ละชั้นบางกระบวนการไม่เหมาะกับการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมการเป่าขวดพลาสติก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์นั้นมีราคาสูงเกินไป บทความนี้นำเสนอวิธีการสร้างแม่พิมพ์ที่มีท่อหล่อเย็นเจาะเป็นรูโค้งชนิดผิวด้วยกระบวนการทับซ้อนกันของแผ่นโลหะซึ่งสามารถนำไปใช้ได้จริงกับงานเป่าพลาสติก แม่พิมพ์ถูกทดสอบในเครื่องเป่าขวดจริงเพื่อทดสอบความสามารถของแม่พิมพ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการทับซ้อนแผ่นโลหะดังกล่าวนี้ ข้อดีอีกประการหนึ่งของกระบวนการสร้างแม่พิมพ์ด้วยวิธีนี้ คือสามารถถอดเปลี่ยนเฉพาะแผ่นที่เสียหาย เมื่อซ่อมแซมแม่พิมพ์หลังการใช้งาน

คำสำคัญ : ▶▶▶

ท่อหล่อเย็นเจาะเป็นรูโค้งชนิดผิว กระบวนการเติมเนื้อโลหะ กระบวนการทับซ้อนกันของแผ่นโลหะ การกระจายตัวของอุณหภูมิ

Abstract

Blow molds with conformal cooling channels have been developed in order to reduce cycle time and increase the production rate. In addition, the temperature distribution is uniform over the

mold surfaces according to the previous work and other cooling simulations. However, no fabrication technique can effectively make such a complicated mold with conformal cooling channels. Molds formed by some of metal deposition processes are not suitable for real industry use because the costs of making are still too expensive. This paper describes how to create a mold with conformal cooling channels through a novel metal plate stacking process that can actually be used in blow molding industries. Molds are also tested to confirm the capability of molds made by this metal plate stacking technique. The main advantage of molds made by this stacking technique is that the metal plates can be easily replaced with new ones during the repair process.

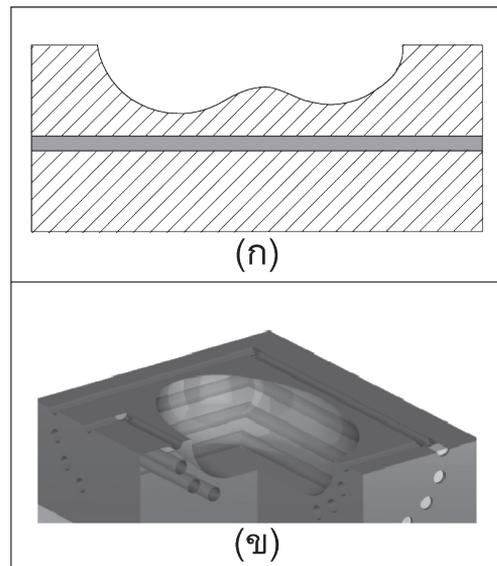
Key Words:

conformal cooling channels, metal deposition process, metal plate stacking process, temperature distribution

1. บทนำ

ปัจจุบันแม่พิมพ์เป่าและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีการใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก อุตสาหกรรมดังกล่าวจำเป็นต้องคำนึงถึงการลดต้นทุนสำหรับการเป่าหรือการฉีด วิธีที่ใช้ในการลดต้นทุนการเป่าหรือการฉีดที่เป็นที่นิยมกันมากที่สุดคือการลดเวลาในการผลิตลง (Reduce Cycle Time) เพราะเวลาในการผลิตและต้นทุนมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก การใช้เวลาในการผลิตชิ้นงานมากหมายถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ต้นทุนหลักของทั้งกระบวนการเป่าหรือฉีดพลาสติกมักจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น โดยเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น คือ เวลาที่ใช้ในการนำความร้อนออกจากพลาสติกจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงรูปได้ [1-2]

โดยทั่วไปแล้วแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นในภาคอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกจะใช้วิธีเจาะรูนำหล่อเย็น โดยมีลักษณะเป็นรูแนวตรง (Conventional Straight Cooling Channels) ภายในแม่พิมพ์ มักเจาะด้วยดอกสว่าน ดังแสดงในภาพที่ 1

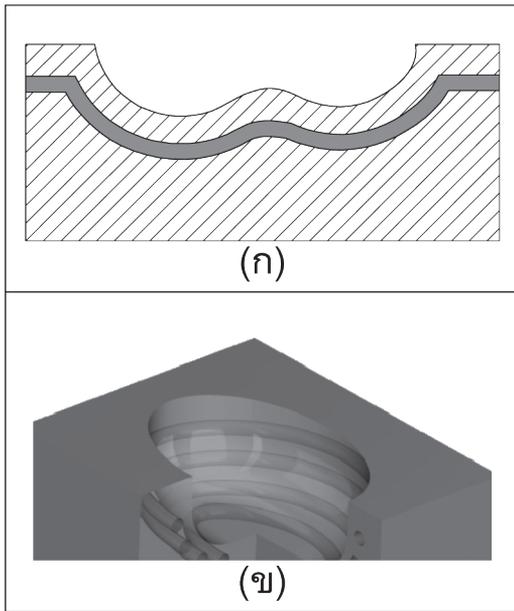


ภาพที่ 1 แม่พิมพ์ที่มีรูนำหล่อเย็นจะเป็นแนวตรง (Conventional Cooling Channels)

ที่มา: <http://www.plasticstoday.com/imm/articles/tooling-conformal-cooling-1209>

จากนั้นใช้น้ำหล่อเย็นหมุนเวียนในระบบด้วยปั๊มน้ำ เพื่อให้มีการดึงเอาความร้อนออกจากพลาสติก ซึ่งการใช้

วิธีในการเจาะรูน้ำหล่อเย็นเป็นแนวตรงนั้นไม่สามารถสร้างท่อหล่อเย็นชนิดผิวที่มีรูปทรงแบบ 3 มิติแบบชิดไปกับผิวแม่พิมพ์ได้ (Conformal Cooling Channels) การทำให้ระบบท่อหล่อเย็นมีรูปทรงโค้งชิดไปกับผิว 3 มิติของแม่พิมพ์จะทำให้การส่งถ่ายความร้อนของแม่พิมพ์ดีขึ้นกว่าแบบเดิมมาก [3-4] ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แม่พิมพ์ที่มีรูน้ำหล่อเย็นจะเป็นแนวโค้งชนิดผิว (Conformal Cooling Channels)

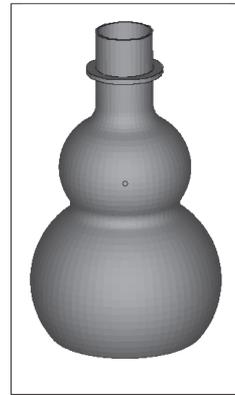
ที่มา: <http://www.plasticstoday.com/imm/articles/tooling-conformal-cooling-1209>

การใช้แม่พิมพ์แบบมีรูน้ำหล่อเย็นจะเป็นแนวโค้งชนิดผิวนอกจากจะสามารถถ่ายเทความร้อนภายในแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นกว่าแม่พิมพ์ที่มีรูน้ำหล่อเย็นที่เจาะเป็นแนวตรงแล้ว ยังช่วยให้การกระจายตัวของความร้อนบนผิวแม่พิมพ์ซึ่งแนบติดกับผิวชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากการเป่าหรือฉีดมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ลดการสูญเสียของชิ้นงาน นั่นคือลดการบิดเบี้ยว (Warpage) ของชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้นมีนัยยะสำคัญ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันไม่มีการผลิตใดที่สามารถผลิตแม่พิมพ์ที่มีท่อหล่อเย็นจะเป็น

รูโค้งชนิดผิวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] มีแต่ผลการคำนวณอัตราการผลิตความร้อนออกจากผิวแม่พิมพ์ที่ได้จากการจำลองแบบเสมือน [6-9]

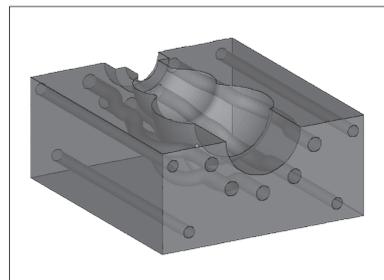
2. การสร้างแม่พิมพ์ให้มีท่อหล่อเย็นโค้งชนิดผิว

ขั้นตอนในการประดิษฐ์เริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงานรูปทรงสามมิติที่ต้องการผลิตในซอฟต์แวร์ CAD ในที่นี้ใช้ซอฟต์แวร์น้ำเต้าเป็นกรณีศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 3 ชิ้นงานรูปทรงสามมิติในขั้นตอนนี้อาจทดแทนได้ด้วยสแกนรูปทรงจากชิ้นงานต้นแบบที่ต้องการผลิตได้เช่นกัน



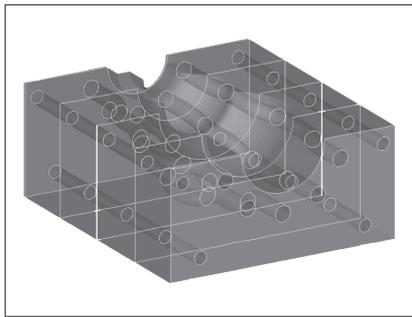
ภาพที่ 3 ขวดรูปน้ำเต้าที่ต้องการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 นำชิ้นงานสามมิติที่ได้ออกแบบไว้ไปสร้างแม่พิมพ์ โดยมีการออกแบบรูท่อหล่อเย็นไว้รอบผิวชิ้นงาน โดยให้แนวท่อนั้นโค้งชิดผิวแม่พิมพ์จะได้แม่พิมพ์พร้อมท่อหล่อเย็น ดังแสดงในภาพที่ 4



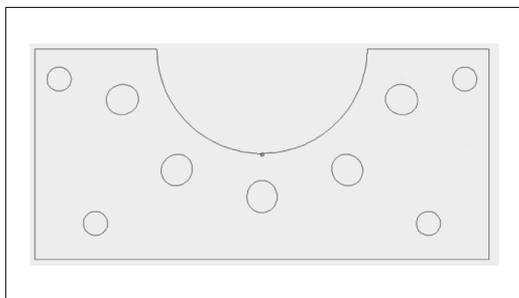
ภาพที่ 4 แม่พิมพ์เป่าขวดรูปน้ำเต้าพร้อมท่อหล่อเย็นแบบชนิดผิว

ขั้นตอนที่ 3 Slice แม่พิมพ์ออกเป็นชั้น ๆ ที่มีความหนาเท่า ๆ กันซึ่งมีขนาดเท่ากับความหนาของโลหะแผ่นที่จะนำมาตัด และเรียงซ้อนกันเป็นรูปแม่พิมพ์ดังแสดงในภาพที่ 5 จากภาพจะเห็นรูแนวตรงเจาะไว้ที่ 4 มุมของแม่พิมพ์ซึ่งมีไว้สำหรับร้อยนอต เพื่อยึดแผ่นโลหะทั้งหมดเข้าด้วยกัน

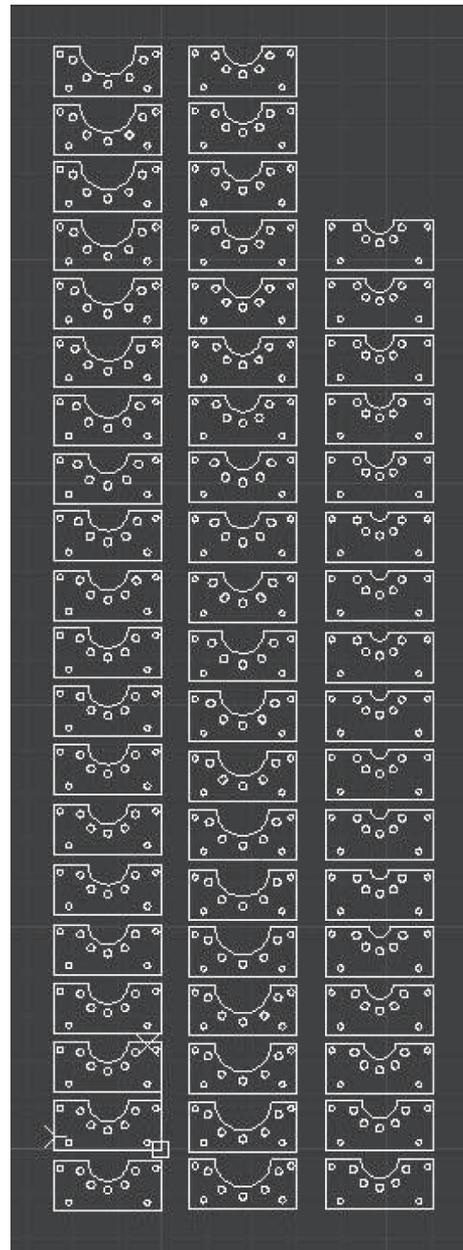


ภาพที่ 5 แม่พิมพ์ขูดรูปน้ำเต้าที่ Slice แล้ว

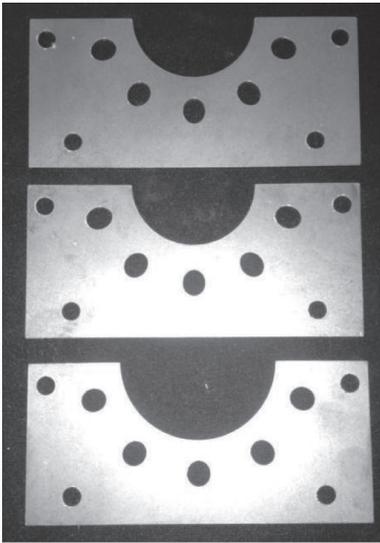
ขั้นตอนที่ 4 นำภาพตัดขวางแต่ละชั้นดังแสดงในภาพที่ 6 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ส่งไปทำการตัดด้วยเครื่องตัดเลเซอร์เพื่อตัดแผ่นโลหะ ภาพตัดขวางแต่ละชั้นจะมีรูปร่างไม่เหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ภาพตัดขวางแต่ละชั้น

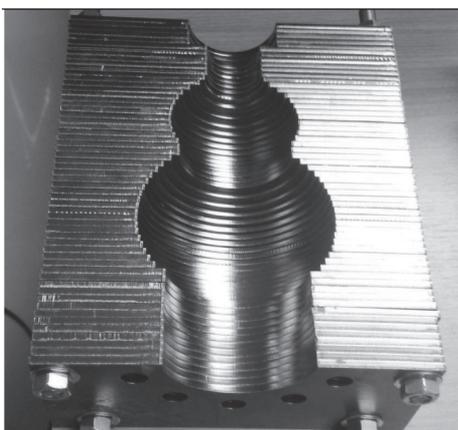


ภาพที่ 7 ภาพตัดขวางทั้งหมดของแม่พิมพ์ขูดรูปน้ำเต้าที่ต้องการผลิต

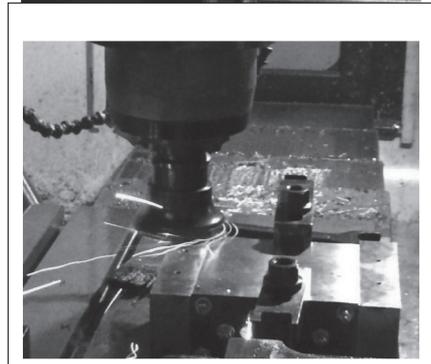
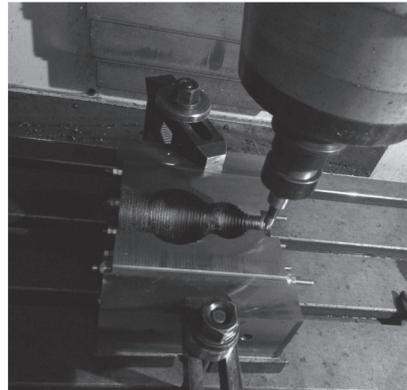


ภาพที่ 8 แผ่นโลหะที่ตัดตามภาพตัดขวางด้วยเครื่องตัดเลเซอร์

ภาพที่ 8 แสดงแผ่นโลหะที่ตัดตามภาพตัดขวางจากขั้นตอนที่ 4 และเมื่อนำแผ่นโลหะที่ตัดจากภาพตัดขวางในภาพที่ 7 ทั้งหมดมาเรียงซ้อนกัน และร้อยนอตเพื่อยึดให้แผ่นโลหะทั้งหมดอยู่ด้วยกัน จะได้รูปทรงชิ้นงานที่เรียกว่า Near Net Shape [10] ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 5

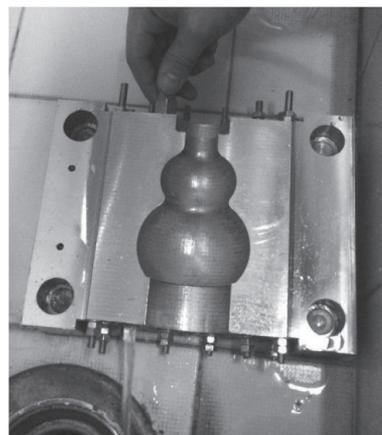


ภาพที่ 9 อินเล็ตแม่พิมพ์ขวดรูปน้ำเต้าที่ต้องการผลิต



ภาพที่ 10 การกัดเก็บผิวแม่พิมพ์

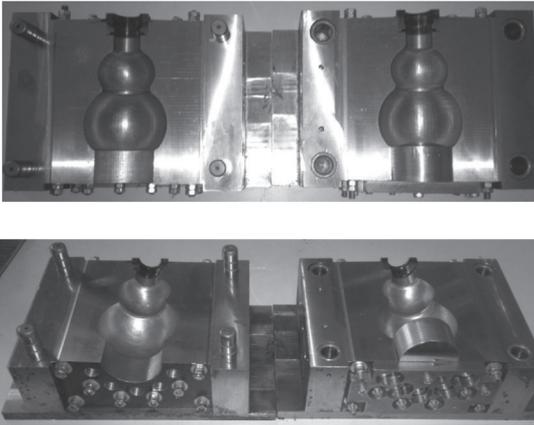
ขั้นตอนที่ 6 หลังจากประกอบอินเล็ตเข้ากับ Mold Base แล้ว กัดเก็บผิวแม่พิมพ์ให้ได้รูปทรงตามชิ้นงานที่ออกแบบไว้ด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี ดังแสดงในภาพที่ 10 เมื่อเก็บผิวเรียบร้อยแล้วได้รูปทรงดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การทดสอบการไหลและการรั่วของน้ำในท่อน้ำหล่อเย็น

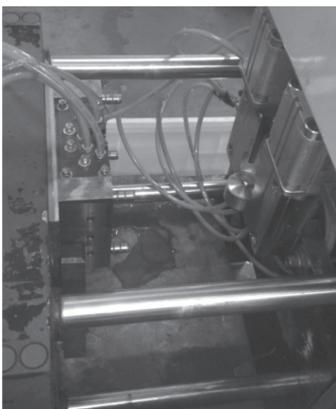
3. การทดสอบแม่พิมพ์

หลังการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับแม่พิมพ์เป่ารวมทั้ง Mold Base, Neck-ring และ Bottom Insert จะได้แม่พิมพ์เป่าที่สมบูรณ์พร้อมใช้งานซึ่งมีรูปร่างและลักษณะดังแสดงในภาพที่ 12



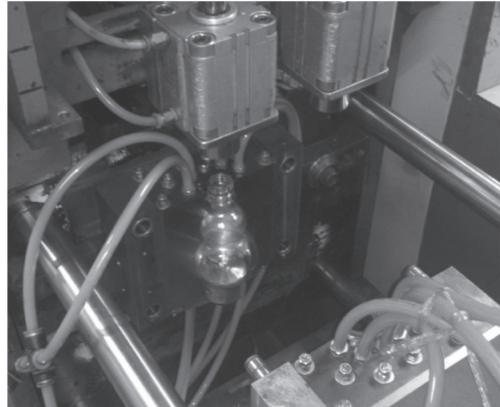
ภาพที่ 12 แม่พิมพ์เป่าขวดทั้งสองด้านเมื่อประกอบกับ Mold Base, Neck-ring และ Bottom Insert

เพื่อตรวจสอบว่าแม่พิมพ์ที่ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการทับซ้อนแผ่นโลหะนี้มีความสามารถที่ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมการเป่าขวดพลาสติก ผู้วิจัยได้ทดสอบการเป่าขวดจริง โดยนำแม่พิมพ์ติดตั้งบนเครื่องเป่าขวดแบบ Manual ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แม่พิมพ์เป่าขวดเมื่อประกอบกับเครื่องเป่าขวด และระบบน้ำหล่อเย็น

เมื่อติดตั้งแม่พิมพ์และระบบน้ำหล่อเย็นเรียบร้อยแล้ว จึงทดสอบการเป่าขวดด้วยแม่พิมพ์ใหม่นี้ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ภาพการเป่าขวด

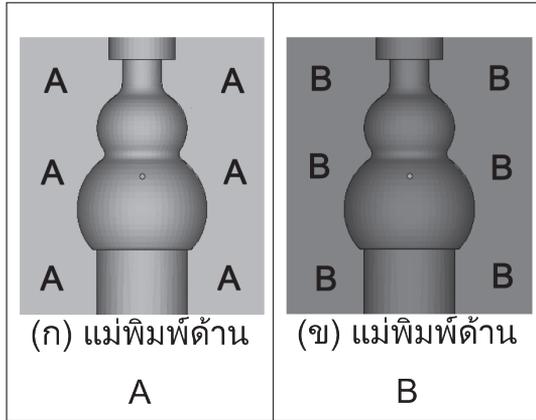
ภาพที่ 14 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าขวดที่เป่าได้จากแม่พิมพ์ใหม่นี้มีผิวเรียบใส ไม่ปรากฏรอยแตกร้าว ผู้วิจัยได้ทดลองนำขวดไปใส่น้ำเย็นดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ขวดที่เป่าสำเร็จแล้ว

หลังจากนั้นทดสอบความเรียบผิวโดยใช้เครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Tester) วัดค่า

ความหยาบผิว Ra ของผิวแม่พิมพ์ 6 จุดทั้งสองด้านของแม่พิมพ์เป่า ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ตำแหน่งการวัดความหยาบผิว

ตารางที่ 1 ความหยาบผิววัดได้จากแม่พิมพ์ด้าน

ครั้งที่	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0.14	0.17	0.11	0.17	0.11	0.11
2	0.14	0.12	0.11	0.10	0.17	0.12
3	0.12	0.16	0.12	0.10	0.18	0.12
4	0.17	0.12	0.12	0.10	0.14	0.11
5	0.12	0.13	0.14	0.10	0.14	0.13
6	0.12	0.14	0.14	0.11	0.15	0.15
7	0.17	0.16	0.14	0.12	0.10	0.11
8	0.12	0.15	0.14	0.12	0.10	0.11
9	0.13	0.14	0.11	0.12	0.12	0.12
10	0.15	0.16	0.11	0.12	0.17	0.13
Avg						0.130

ตารางที่ 2 ความหยาบผิววัดได้จากแม่พิมพ์ด้าน B

ครั้งที่	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	0.14	0.12	0.18	0.12	0.12	0.14
2	0.16	0.11	0.15	0.11	0.13	0.13
3	0.14	0.10	0.17	0.10	0.11	0.12
4	0.12	0.10	0.18	0.11	0.10	0.12
5	0.12	0.10	0.18	0.11	0.11	0.12
6	0.14	0.11	0.18	0.11	0.10	0.12
7	0.10	0.12	0.18	0.12	0.10	0.14
8	0.10	0.12	0.18	0.12	0.10	0.14
9	0.10	0.13	0.18	0.12	0.10	0.12
10	0.15	0.14	0.18	0.12	0.10	0.13
Avg						0.128

จากการทดลองจะได้ค่าความหยาบผิว Ra บนผิวแม่พิมพ์ทั้งด้าน A และด้าน B ซึ่งได้จากการเจียรราบเท่านั้น (ไม่ได้ขัดด้วย Diamond Paste เพื่อให้ได้ผิว Mirror Image เกรด A) จะมีค่าเฉลี่ยของความหยาบผิว Ra อยู่ที่ประมาณ 0.13 μm ซึ่งค่า Ra ของแม่พิมพ์นั้นอยู่ในช่วงผิวแม่พิมพ์เกรด B-2 (Smooth Image) ซึ่งผิวแม่พิมพ์ที่ได้มีความเป็นมันเงาสูง โดยอ้างอิงข้อมูลจากทางสมาคมผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมพลาสติก (Society of Plastics Industry, SPI) [11]

4. สรุป

เนื่องจากการส่งถ่ายความร้อนของแม่พิมพ์ที่มีท่อน้ำหล่อเย็นที่มีรูปทรงโค้งชิดกับผิวแม่พิมพ์ดีขึ้นกว่าแม่พิมพ์ที่มีน้ำหล่อเย็นมีลักษณะเป็นรูแนวตรง การกระจายตัวของความร้อนบนผิวแม่พิมพ์ซึ่งโค้งแนบชิดกับผิวชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากการเป่าหรือฉีดมีความสม่ำเสมอมากขึ้น แม่พิมพ์ที่ผลิตขึ้นมีต้นทุนในการผลิตลดลงมาก เพราะการขึ้นรูปแม่พิมพ์จากโลหะแผ่นมีราคาต้นทุน

ถูกกว่าการขึ้นรูปแม่พิมพ์จากโลหะก้อน กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ในลักษณะนี้ทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากใช้วิธีตัดเอาเนื้อโลหะออกจากโลหะแผ่นด้วยเลเซอร์ซึ่งง่ายเร็ว และถูกกว่าการกัดเนื้อโลหะก้อนทั้งก้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Khan M., Kamran Afaq S., Khan N.U. and Ahmad S., 2014. Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design”, ISRN Mechanical Engineering, Volume 2014

[2] Naitove M.H., 2015. Passive Vriotherm’ Cooling Cuts Cycle Time at Low cost, Plastics Technology, February .

[3] Beard R., 2015. “Financial Justification of Conformal Cooling”, MoldMaking Technology, [Cited on 1 February 2015]

[4] Beard R, “Why Conformal Cooling Makes Sense”, Plastics Technology, June 2014

[5] Eiamsa-ard, K., and Wannisor, K., 2015. “Conformal bubbler cooling for molds by metal deposition process”, Computer Aided Design, Vol. 69, December 2015, pp. 126–133. (in print)

[6] Wang Y, Yu K–M, Wang CCL and Zhang Y., 2011. “Automatic design of conformal cooling circuits for rapid tooling”, Computer–Aided Design 43 (2011), pp. 1001–1010.

[7] Au K.M., Yu K.M. and. Chiu W.K, 2011. “Visibility– based conformal cooling channel

generation for rapid tooling”, Computer–Aided Design 43 (2011), pp. 356–373.

[8] Au K.M. and Yu K.M., 2011. “Modeling of multi–connected porous passageway for mould cooling”, Computer–Aided Design 43 (2011), pp. 989–1000.

[9] Wang Y, Yu K–M. and Wang CCL, 2015. “Spiral and conformal cooling in plastic Injection molding”, Computer–Aided Design 63 (2015), pp. 1–11.

[10] Jeffrey W. Herrmann, “Near–Net Shape Manufacturing”, [cited on 10 May 2015], <https://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/vm/ama/node6.html>

[11] Steven J. Bales, “Surface Finish: Understanding Mold Surface Lingo”, MoldMaking Technology, [Cited on 15 April 2015]