

การออกแบบและสร้างระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน เพื่อแก้ไขปัญหาการบิดตัวและเสียรูปของชิ้นงานฉีดพลาสติก ด้วยวิธีการเลเซอร์ซินเตอร์ริง

DESIGN AND MAKING OF CONFORMAL COOLING SYSTEM FOR SOLVING INJECTED PLASTIC PART WARPAGE PROBLEMS BY USING DIRECT METAL LASER SINTERING METHOD

มนัส เทรญญิกิจ

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยี อุดสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail : manath@kmutnb.ac.th

สถาพร ขาดาคม

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยี อุดสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail : sck@kmutnb.ac.th

ศักดิ์ชัย ม่วงภาณี

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยี อุดสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail : sakchaim@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยวิธีการเลเซอร์ซินเตอร์ริงนั้น ถูกนำมาใช้ในการสร้างระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งมักจะใช้ในการแก้ไขปัญหานั้นเนื่องจากข้อจำกัดของสร้างระบบหล่อเย็นด้วยวิธีการเจาะรูแบบทั่วไป ซึ่งส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นจะเป็นลักษณะแกนเหล็กโค้งและมีขนาดเล็กซึ่งทำให้ไม่สามารถเจาะรูสารหล่อเย็นภายในได้ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูงในขณะที่ทำการผลิตและส่งผลให้ชิ้นงานพลาสติกเกิดการเสียรูป โดยวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการเลเซอร์ซินเตอร์ริงคือ ผงเหล็กเกรด P20 สารหล่อเย็นที่ใช้คือ น้ำมัน ภายหลังจากสร้างระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานและทำการทดลองฉีดพลาสติกแล้วนั้น สามารถลดระยะเวลาในการฉีดลงได้ 5 วินาทีและสามารถลดขั้นตอนการทำให้ชิ้นงานคงรูปภายนอกแม่พิมพ์ลงได้ 120 วินาที โดยในการสร้างแบบจำลองชิ้นงานจะใช้เทคนิคการสแกนแบบ 3 มิติ การวิเคราะห์การไหลของพลาสติกจะใช้โปรแกรม Rhinoceros 4.0 และ Moldex3D R11.0 ในการสร้างโปรแกรมทางเดินมีดกัดจะใช้โปรแกรม Cimatron E11.0

คำสำคัญ : ระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน, เลเซอร์ซินเตอร์ริง, การวิเคราะห์การไหลของพลาสติก

ABSTRACT

Commonly, the conventional cooling system of a plastic injection mold consisted of a drilled set of interconnected cooling channels. These cooling channels frequently provide non-uniform cooling, resulting in long cooling time and part warping. This problem can be remedied by using the conformal cooling technique. The aim of this research work was to design a conformal cooling system for improving the mold insert for which the internal cooling system cannot be built. The core insert of a typical plastic rinsing spray has small dimension and complex shape design. Hence its internal cooling system cannot be built by using the conventional method. For the core insert with conformal cooling system, P20 powder metal is used for laser sintering process and oil is used as coolant for the mold cooling system. The 3D scanning technique is used for part model creating. Rhinoceros 4.0 and Moldex3D R11.0 computer programs are applied for cooling system design and plastic flow analysis. For plastic injection mold design and G-code generating, Cimatron E11.0 is used for mold manufacturing. The results from plastic injection experiment show that the cycle time can be reduced by 5 seconds and further part setting outside with cooling jig is eliminated which can reduce 120 seconds of the time for production process.

KEYWORDS : Conformal cooling, Laser sintering, Plastic flow analysis

บทนำ

กระบวนการฉีดพลาสติกนั้นเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ และสามารถผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีรูปทรงซับซ้อนได้เป็นอย่างดี กระบวนการฉีดพลาสติกนั้นยังสามารถทำการผลิตโดยควบคุมขนาดต่าง ๆ ของชิ้นงานพลาสติกที่ทำการผลิตออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นจะประกอบด้วยช่วงเวลาที่สำคัญสามช่วงเวลาด้วยกันคือ ช่วงของการเติมเนื้อพลาสติก (Filling stage) ช่วงของการคงความดันภายในเบ้าพิมพ์ (Packing stage) และช่วงของการระบายความร้อนออกจากชิ้นงานพลาสติก (Cooling stage) ซึ่งจากช่วงเวลาทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้น เวลาที่ใช้ในการระบายความร้อนออกจากชิ้นงานหรือเวลาที่ใช้หล่อเย็นชิ้นงานนั้นจะใช้เวลาที่นานที่สุดประมาณ 65-70% ของเวลาต่อรอบในการผลิตชิ้นงาน (Cycle time) (H. S. Park and N. H. Pham, 2009) เนื่องจากในช่วงของการหล่อเย็นชิ้นงานนั้นจะเป็นเวลาที่ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์จะทำการระบายความร้อนออกจากพลาสติกเหลวที่อยู่ในเบ้าพิมพ์ เพื่อให้ชิ้นงานเย็นตัวลงจนกระทั่งสามารถปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นในการหล่อเย็นชิ้นงานสำหรับ

กระบวนการฉีดพลาสติกนั้นจึงถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะส่งผลโดยตรงต่อเวลาต่อรอบ (Cycle time) ที่ใช้ในการผลิตและคุณภาพของชิ้นงานพลาสติกที่ได้ ซึ่งวิธีการสร้างระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบทั่วไปนั้นจะใช้วิธีการเจาะรูเพื่อสร้างเส้นทางไหลของสารหล่อเย็น (Cooling line) ในระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังนั้นลักษณะของระบบหล่อเย็นสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบทั่วไปนั้น จึงมีหน้าตัดของรูสารหล่อเย็นเป็นแบบหน้าตัดกลมและมีเส้นทางไหลของสารหล่อเย็นเป็นแบบเส้นตรงเท่านั้น จากเหตุผลดังกล่าวนี้ ทำให้ในบางครั้งจึงเกิดข้อจำกัดในการออกแบบระบบหล่อเย็นของชิ้นงาน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการหล่อเย็นชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อน ชิ้นงานที่มีสันหรือคريبเป็นจำนวนมาก ๆ หรือชิ้นงานที่ไม่สามารถทำการเจาะรูในชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้ (Duleba, 2010)

ในหลายปีที่ผ่านมากระบวนการหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน (Conformal cooling) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของระบบหล่อเย็นแบบทั่วไป (Branislav, 2010) อาทิเช่น

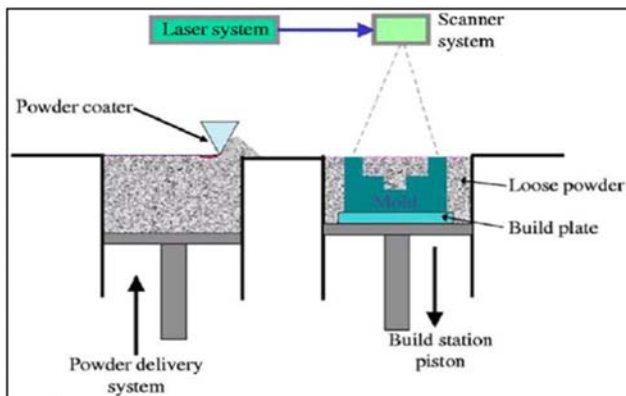
- ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวของแม่พิมพ์
- ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานพลาสติก

ในขณะที่ทำการหล่อเย็น

- ปัญหาความดันของน้ำหล่อเย็นลดลง (Pressure drop) ที่บริเวณปลายและจุดที่ติดกันของทางเดินน้ำหล่อเย็น
- ปัญหาการบิดตัวและเสียรูปของชิ้นงานพลาสติก
- ระยะเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น

ซึ่งการออกแบบและสร้างระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานนั้นต้องใช้วิธีการที่เรียกว่า DMLS (Direct metal laser sintering) ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งวิธีการดังกล่าวนั้นจะเป็นวิธีการใช้ความร้อนจากแสงเลเซอร์ในการหลอมละลายผงโลหะทีละชั้น ซึ่งความหนาในแต่ละชั้นที่ทำการขึ้นรูปนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 20-30 μm (Duleba, 2010) จนกระทั่งได้ชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างชิ้นส่วนของแม่พิมพ์โดยปราศจากข้อจำกัดที่เกิดจากวิธีการเจาะรูสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบทั่วไป (Meckley, 2009) ทำให้สามารถสร้างระบบหล่อเย็นที่มีเส้นทางไหลของสารหล่อเย็นเป็นไปตามรูปทรงของชิ้นงานได้ (Lars-Erik, 2008)

ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าลักษณะการออกแบบระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานนั้นมักจะเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างระบบหล่อเย็นแบบทั่วไปกับระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน ซึ่งมักจะมีหน้าตัดของรูสารหล่อเย็นเป็นหน้าตัดกลมเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่ลักษณะเส้นทางไหล



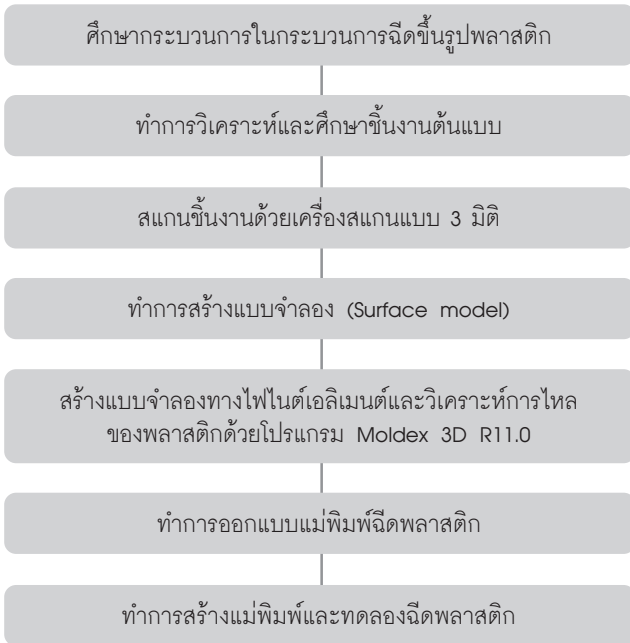
รูปที่ 1 กระบวนการ Direct Metal Laser Sintering
(www.emeraldinsight.com)

ของสารหล่อเย็นเท่านั้น (Lars-Erik, 2008) ซึ่งมุ่งเน้นที่จะระบายความร้อนออกจากชิ้นงานฉีดพลาสติกให้เท่ากันทั้งชิ้นงานและใช้ระยะเวลาในการหล่อเย็นชิ้นงานที่สั้นที่สุดเท่านั้นหรือมักจะเป็นการทดลองสร้างระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานกับชิ้นงานหรือแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เป็นงานต้นแบบ (Rapid tooling) (Meckley, 2009) แต่จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นงานและแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นพบว่า การออกแบบเส้นทางไหลของสารหล่อเย็นสำหรับชิ้นส่วนแกนคอร์ที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่จำกัดนั้น นอกจากจะต้องทำการออกแบบระบบหล่อเย็นให้สามารถพาความร้อนออกจากชิ้นงานได้แล้วนั้น ยังจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้สามารถพาความร้อนออกจากชิ้นส่วนแกนคอร์ให้มากที่สุดเพื่อลดการสะสมความร้อนในชิ้นส่วนดังกล่าว ซึ่งปัญหาดังกล่าวนั้นจะส่งผลให้เมื่อทำการผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนมาก ๆ ชิ้นงานพลาสติก จะได้รับความร้อนจากชิ้นส่วนแม่พิมพ์ดังกล่าวจนทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูป ซึ่งการศึกษาและวิจัยในงานชิ้นนี้ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงแค่การแก้ไขหรือลดเวลาในช่วงของการฉีดพลาสติกเท่านั้น แต่จะเป็นการแก้ไขปัญหาและลดขั้นตอนการทำให้ชิ้นงานไม่เสียรูปภายหลังจากการฉีดพลาสติกด้วยอีกทางหนึ่ง

ขั้นตอนในการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการศึกษาและวิจัยโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการสแกนแบบ 3 มิติในการสร้างแบบจำลองของชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์บนโปรแกรม Rhinoceros 4.0 และทำการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกบนโปรแกรม Moldex3D R11.0 เพื่อหาเงื่อนไขในการฉีดพลาสติกและเปรียบเทียบผลระหว่างแม่พิมพ์ที่ใช้ระบบหล่อเย็นแบบทั่วไปกับระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปทำการออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและทำการทดลองฉีดพลาสติกเพื่อเปรียบเทียบผล โดยขั้นตอนทั้งหมดในการศึกษาและวิจัยถูกแสดงอยู่ในแผนภูมิที่ 1

แผนภูมิที่ 1



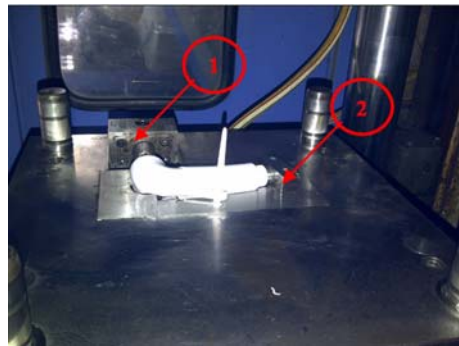
- การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ชิ้นงานต้นแบบ ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นฝักบัวฉีดน้ำขนาดเล็ก ซึ่งใช้พลาสติกประเภท ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ในการผลิต โดยรูปชิ้นงานนั้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2 ลักษณะทั่วไปของชิ้นงานนั้นจะมีรูตลอดความยาว ชิ้นงานซึ่งใช้สำหรับให้น้ำประปาไหลผ่านในขณะที่ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งรูดังกล่าวนั้นจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งไปตามรูปทรงของชิ้นงาน ซึ่งแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานนั้นจะเป็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบมีชิ้นส่วนแกนคอร์ที่สามารถเลื่อนออกทางด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 4 (ชิ้นส่วนที่ 1) เพื่อใช้ในการสร้างรูสำหรับเป็นทางออกของน้ำประปาและมีชิ้นส่วนแกนคอร์อีกหนึ่ง



รูปที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3 รูโค้งภายในชิ้นงาน



รูปที่ 4 การขึ้นรูปรูภายในชิ้นงานฉีดพลาสติก

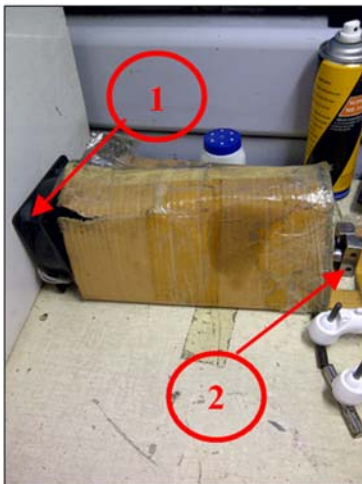
ชิ้นที่ใช้สำหรับสร้างรูเพื่อเป็นทางไหลเข้าของน้ำประปาเมื่อทำการใช้งานจริงดังแสดงในรูปที่ 4 (ชิ้นส่วนที่ 2)

ซึ่งวิธีการปลดชิ้นงานในส่วนของแกนคอร์ชิ้นส่วนที่ 2 ซึ่งไม่ได้มีระบบนำเลื่อนแบบอัตโนมัตินั้นจะใช้วิธีการดึงแกนคอร์ออกด้วยแรงงานคนภายหลังจากทำการฉีดพลาสติกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งปัญหาที่พบในระหว่างการผลิตคือชิ้นส่วนแกนคอร์ดังกล่าว ไม่ได้มีการสร้างทางเดินของน้ำหล่อเย็นภายในชิ้นส่วน เนื่องจากลักษณะของแกนคอร์นั้นจะมีลักษณะที่เป็นส่วนโค้งเข้ากับลักษณะของชิ้นงาน ทำให้ไม่สามารถทำการเจาะรูน้ำหล่อเย็นได้ จึงเป็นสาเหตุให้เมื่อทำการฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะเกิดการสะสมความร้อนขึ้นอย่างมากภายในชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ดังกล่าว ทำให้เมื่อทำการฉีดพลาสติกเป็นจำนวนมาก ๆ ชิ้นงานพลาสติกที่ได้จึงเกิดการงอและเสียรูปภายหลังจากการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 5 ชิ้นส่วนแกนคอรั

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ทางผู้ผลิตต้องทำการสร้างชิ้นส่วนแกนคอรัดังกล่าวมากกว่า 1 ชิ้นเพื่อทำการสลักใส่ในแม่พิมพ์ระหว่างการทำการผลิตและในระหว่างนั้นชิ้นส่วนแกนคอรัที่ไม่ได้ถูกใส่เข้าไปในแม่พิมพ์นั้นจะถูกนำไปทำให้มีอุณหภูมิลดลงโดยการใช้พัสดุขนาดเล็ก (รูปที่ 6 หมายเลข 1) ระบายความร้อนออกจากตัวชิ้นส่วนแกนคอรัเพื่อรอในการนำไปใส่ในแม่พิมพ์อีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 6 (รูปที่ 6 หมายเลข 2) โดยแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานนี้นั้นจะมีระยะเวลาต่อรอบ (Cycle time) ในการผลิตประมาณ 60 วินาทีต่อรอบและเมื่อทำการปลดชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์แล้วนั้นยังคงต้องนำชิ้นงานไปทำการใส่แกนเหล็กเพื่อให้ชิ้นงานคงรูปไม่เกิดการบิดตัวหรือคดงอภายนอกแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยใช้ระยะเวลาในการให้ชิ้นงานเกิดการเย็นภายนอกแม่พิมพ์ตัวอีกประมาณ 120 วินาที



รูปที่ 6 การระบายความร้อนออกจากแกนคอรัด้วยพัสดุ



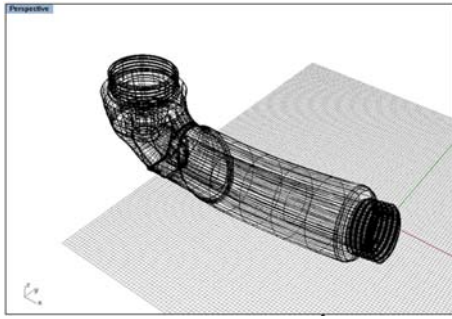
รูปที่ 7 แกนเหล็กป้องกันการเสียรูปของชิ้นงาน

- ขั้นตอนการสแกนแบบ 3 มิติ (3-D scan) และสร้างแบบจำลองชิ้นงาน

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหา และวิธีการผลิตของชิ้นงานตัวอย่างเรียบร้อยแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองชิ้นงานภายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในขั้นตอนแรกนั้นจะต้องทำการสแกนชิ้นงานตัวอย่างด้วยวิธีการสแกนแบบ 3 มิติ โดยใช้เครื่องสแกนแบบใช้แสงในการสแกน (Optical 3D Scan) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 8 โดยรูปแบบจำลองของชิ้นงานที่ได้นั้นจะเป็นลักษณะของแบบจำลองที่เรียกว่า STL (Stereolithography) ซึ่งจะต้องนำแบบจำลองดังกล่าวที่ได้นั้นไปทำการสร้างแบบจำลองที่เป็นลักษณะของแบบจำลองพื้นผิวเรียบ (Surface model) อีกครั้งหนึ่งโดยใช้โปรแกรม Rhinoceros 4.0 เนื่องจากลักษณะของแบบจำลองที่เป็นไฟล์ STL นั้นจะมีลักษณะเป็นจุดหลายๆ จุดที่รวมกันจนเป็นรูปทรงชิ้นงานแต่จุดเหล่านั้นยังไม่ได้ต่อกันจึงต้องนำมาทำการสร้างแบบจำลองพื้นผิวเรียบดังกล่าว



รูปที่ 8 เครื่อง Optical 3D Scan

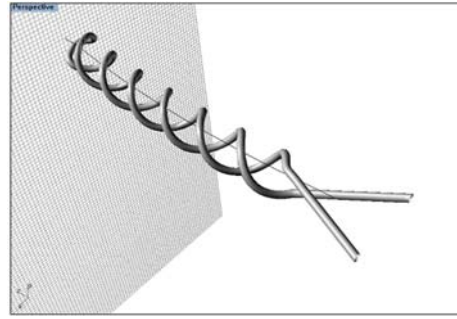


รูปที่ 9 แบบจำลองของชิ้นงาน

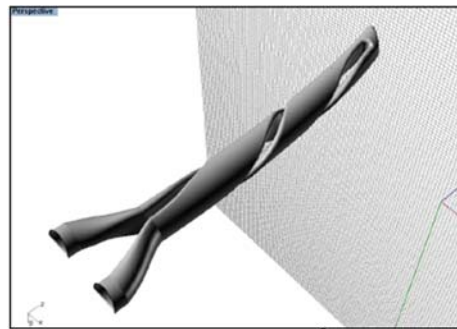
- การออกแบบระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน

การออกแบบระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน สำหรับชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ จะทำการออกแบบกับชิ้นส่วนแกนคอร์ดังที่แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีขนาดเล็กและโค้ง จึงทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการเจาะรูเพื่อสร้างรูสารหล่อเย็นได้ โดยการออกแบบลักษณะของระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานในงานวิจัยที่ผ่านมาสำหรับชิ้นส่วนที่เป็นแกนเหล็กในลักษณะดังกล่าวนั้น มักจะออกแบบให้รูสารหล่อเย็นนั้นมีหน้าตัดกลมและเป็นลักษณะขดเกลียว (Spiral type) อยู่ภายในชิ้นงาน (Duleba, 2009) แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขนาดของชิ้นส่วนแกนคอร์ ทำให้เมื่อออกแบบในลักษณะดังกล่าว พบว่าขนาด \varnothing ที่โตที่สุดของรูสารหล่อเย็นที่ทำได้ คือ 2 มม. นอกจากนั้นสาเหตุที่ไม่สามารถเพิ่มขนาด \varnothing รูสารหล่อเย็นให้โตขึ้นกว่านี้ได้ นั้น เนื่องจากต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของชิ้นส่วนดังกล่าว ในขณะที่ทำการฉีดพลาสติกด้วยดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งการออกแบบในลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้การไหลของสารหล่อเย็นนั้นไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากขนาด \varnothing รูสารหล่อเย็นที่เล็กมากของชิ้นส่วนดังกล่าว

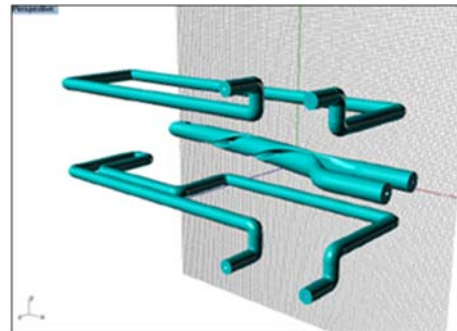
โดยลักษณะรูปแบบของรูสารหล่อเย็นที่ทำการออกแบบในงานวิจัยชิ้นนี้ จะมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมและมีลักษณะเป็นเกลียวขดไปตามรูปทรงของชิ้นส่วนแกนคอร์ ซึ่งการออกแบบในลักษณะนี้จะทำให้มีพื้นที่หน้าตัดและระยะทางในการไหลของสารหล่อเย็นที่มากขึ้น ทำให้สามารถนำความร้อนออกจากแม่พิมพ์และชิ้นงานพลาสติกได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งลักษณะของรูสารหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบไว้ นั้น ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 10



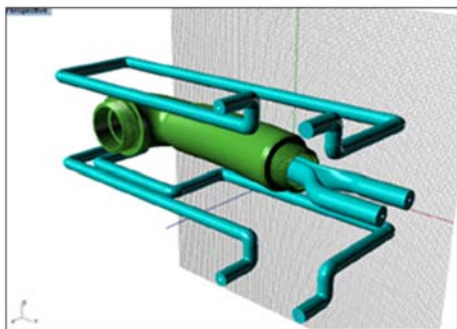
รูปที่ 10 การออกแบบรูสารหล่อเย็นแบบหน้าตัดกลมขนาด \varnothing 2 มม.



รูปที่ 11 ระบบหล่อเย็นภายในชิ้นส่วนแกนคอร์



รูปที่ 12 แบบจำลองระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



รูปที่ 13 รูปแบบของการหล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก

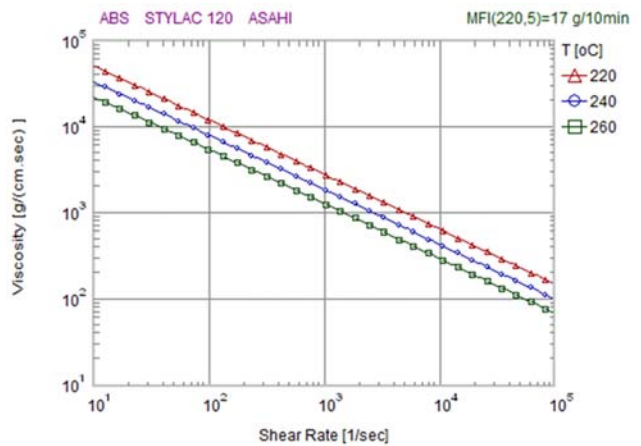
การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติก

กระบวนการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมหรือที่เรียกว่า Computer Aid Engineering (CAE) ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นอย่างมาก อาทิเช่น อุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์, อุตสาหกรรมรถยนต์, อุตสาหกรรมการบิน ฯลฯ โดยในอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์และการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกนั้น มักจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเพื่อจำลองพฤติกรรมต่างๆ ของพลาสติกในขณะทำการฉีด ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบแม่พิมพ์สามารถทำการออกแบบระบบต่างๆ ของแม่พิมพ์ เช่น ระบบป้อนเนื้อพลาสติก ระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Moldex3D R11 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมการไหลของพลาสติกภายในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้ รวมถึงการคำนวณและแสดงผลของค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในช่วงต่างๆ ของการฉีดพลาสติก อาทิเช่น ช่วงของการเติมเต็มเนื้อพลาสติกช่วงของการหล่อเย็นชิ้นงาน เป็นต้น

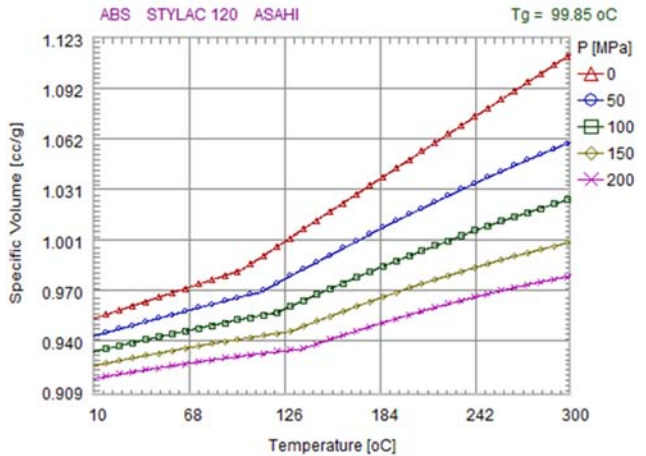
● การกำหนดค่าเงื่อนไขต่างๆ ในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติก

คุณสมบัติของพลาสติก

- พลาสติก ABS (STYLAC 120) ของบริษัท ASAHI
- อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt temperature) = 240 °C
- อุณหภูมิในการปลดชิ้นงาน (Ejection temperature) = 100 °C
- อุณหภูมิหยุดไหลของพลาสติก (Freeze temperature) = 120 °C
- ความหนาแน่นของพลาสติก = 1.06 g/cm³
- ค่าดัชนีในการไหลของพลาสติก (Melt Flow Index) 220, 5 = 17 g/10 min
- อุณหภูมิเริ่มต้นของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก = 60 °C



รูปที่ 14 ดัชนีในการไหลของ ABS (STYLAC 120)



รูปที่ 15 PVT Diagram ของ ABS (STYLAC 120)

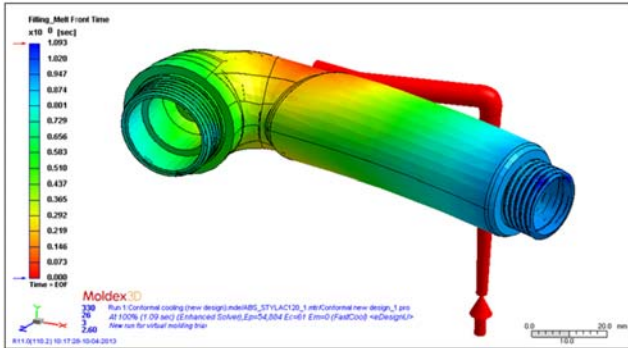
การตั้งค่าเงื่อนไขในการฉีดพลาสติก

- เวลาในการเติมเต็มเนื้อพลาสติก (Filling time) = 0.98 sec
- เวลาในการคงความดันภายในเบ้าพิมพ์ (Packing time) = 4.66 sec
- ปริมาตรของพลาสติกเหลว (Injection volume) = 42.77 cm³
- ความดันในการฉีดสูงสุด (Maximum injection pressure) = 155 Mpa
- เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time) = 13.7 sec
- สารหล่อเย็นที่ใช้ (Coolant) = น้ำมัน
- เวลาที่ใช้ในการเปิดแม่พิมพ์ (Open time) = 5 sec

- ผลการวิเคราะห์การไหลของพลาสติก

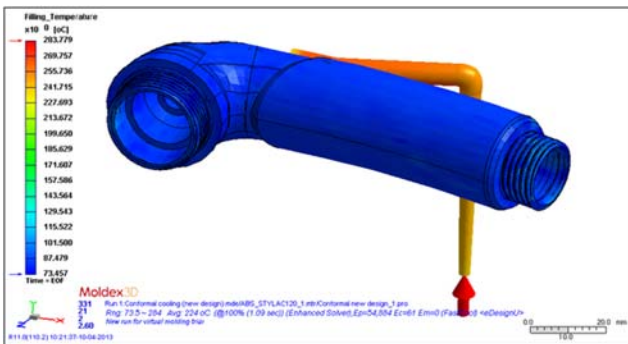
หลังจากที่ได้ทำการกำหนดค่าเงื่อนไขต่างๆ ในการฉีดพลาสติกและทำการวิเคราะห์แล้วนั้นผลที่ได้คือ

- Filling melt front time



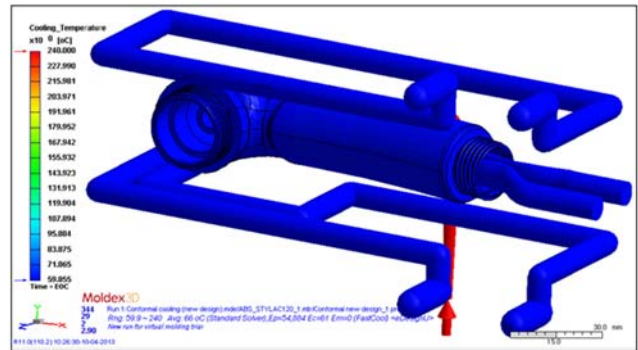
การวิเคราะห์ช่วงเวลาที่ใช้ในการเติมเต็มเนื้อพลาสติกนั้นจะใช้เวลาทั้งหมด 1.09 วินาที ซึ่งจากผลวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าพลาสติกถูกฉีดเข้าเติมพร้อมกันทั้งชิ้นงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณส่วนปลายทั้งสองของชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดปัญหาการฉีดชิ้นงานพลาสติกไม่เต็ม (Short shot) ในขณะที่ทำการผลิต

- Filling temperature



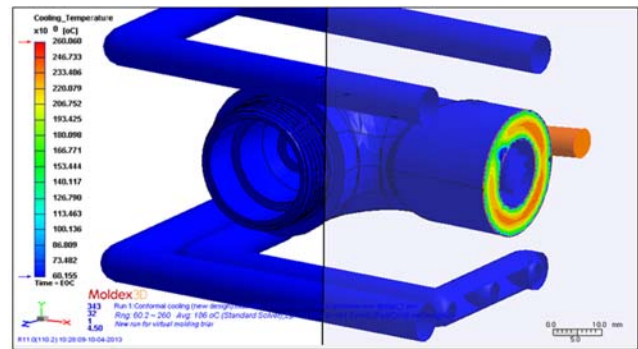
อุณหภูมิสูงสุดในขณะเติมเต็มเนื้อพลาสติกนั้นจะอยู่ที่ 283.779 °C โดยจะอยู่ที่บริเวณระบบป้อนของเนื้อพลาสติก สำหรับบริเวณแกนกลางของชิ้นงานนั้นจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 213.67 °C

- Cooling temperature

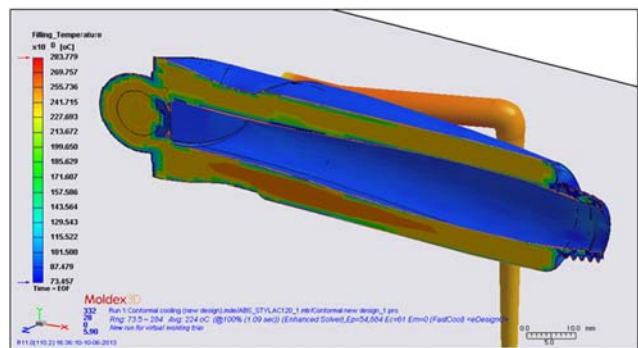


การวิเคราะห์อุณหภูมิภายหลังจากการหล่อเย็นนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดของชิ้นงานจะอยู่ที่ประมาณ 86.59 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิปลดของชิ้นงาน ดังนั้นจึงหมายความว่าระบบหล่อเย็นที่ทำการออกแบบและระยะเวลาที่กำหนดสามารถทำให้ชิ้นงานทำการปลดได้

- Filling temperature (Section view X axis)

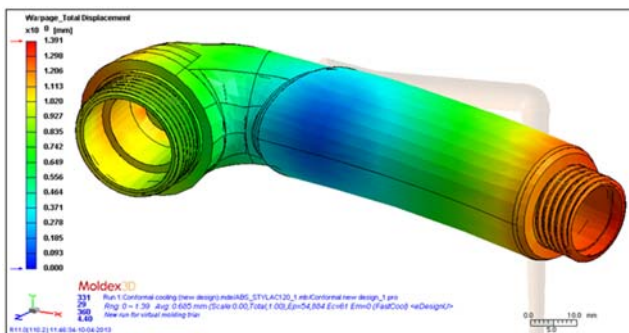


- Filling temperature (Section view Z axis)



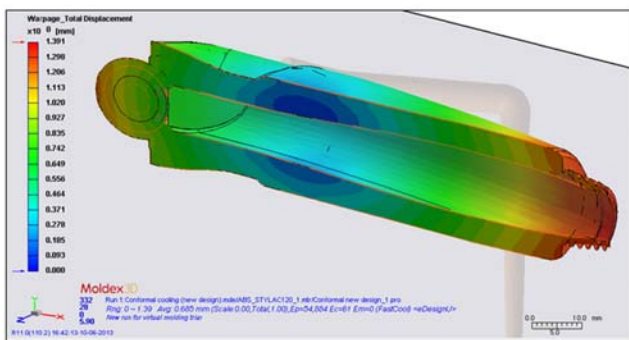
เมื่อพิจารณาจากภาพตัดที่แสดงถึงอุณหภูมิภายในของชิ้นงานทั้งในส่วนของแกน X และแกน Z จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในและภายนอกของชิ้นงานนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการลดความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดตัวและเสียรูปน้อยลง

- Warpage total displacement



- Warpage total displacement (Section view

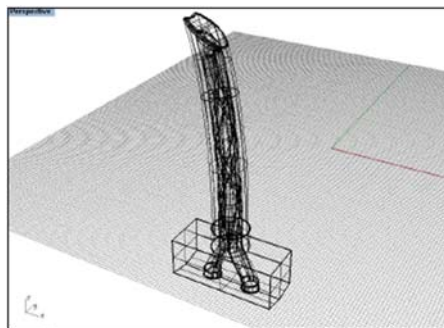
Z axis)



จากผลการวิเคราะห์ลักษณะการเสียรูปของชิ้นงานนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานเข้าไปแล้วนั้น จะทำให้สามารถระบายความร้อนออกจากบริเวณรูด้านในของชิ้นงานได้ ทำให้สามารถลดการสะสมของความร้อนทั้งในส่วนของชิ้นงานและชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ค่าการเสียรูปของชิ้นงาน (Warpage total displacement) ภายหลังจากทำการฉีดพลาสติกมีค่าประมาณ 0.5 มม. โดยเฉพาะบริเวณส่วนคอของชิ้นงานซึ่งจะเป็นส่วนที่เสียรูปมากที่สุดหากทำการผลิตด้วยวิธีการเดิม จะมีค่าการเสียรูปที่ไม่แตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานบริเวณอื่น ๆ

ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนแม่พิมพ์ด้วยกระบวนการ DMLS

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D R11.0 เรียบร้อยแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการขึ้นรูปชิ้นส่วนแกนคอร์ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยกระบวนการ DMLS ซึ่งจะเป็นการขึ้นรูปชิ้นส่วนจากโลหะผงโดยการใส่แสงเลเซอร์ในการให้ความร้อนเพื่อทำการหลอมละลายโลหะผง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะทำให้สามารถสร้างระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานทำให้สามารถลดข้อจำกัดของระบบหล่อเย็นแบบทั่วไปได้ โดยวัสดุผงที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนแกนคอร์ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นวัสดุเหล็กเกรด P20 ซึ่งจะเป็นเหล็กเกรดที่นิยมใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งแบบจำลองของชิ้นส่วนแกนคอร์และระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานภายในถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 15 โดยในการออกแบบจะใช้โปรแกรม Rhinoceros 4.0 ในการออกแบบและทำการบันทึกข้อมูลเป็นรูปแบบไฟล์ที่มีนามสกุล IGES ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนดังกล่าวจะใช้เครื่อง DMLS ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะโดยรูปเครื่องจักรที่ใช้ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงาน



รูปที่ 17 เครื่อง DMLS ที่สถาบัน TGI

โดยในการผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้วยกระบวนการ DMLS นั้นผิวของชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นผิวที่ยังคงมีความขรุขระอยู่เนื่องจากการหลอมละลายของวัสดุตั้งที่แสดงในรูปที่ 11 ซึ่งการออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกผู้ออกแบบต้องทำการเผื่อขนาดของชิ้นงานให้มีขนาดใหญ่กว่าปกติ 0.2-0.5 มม. ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงของชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงทำการนำชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ DMLS ไปทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอื่นๆ เช่น การกัด การกลึง หรือการขัดผิวเพื่อให้ได้ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่มีขนาดเที่ยงตรงและมีค่าความหยาบผิวที่สามารถนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อทำการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกได้ ซึ่งค่าความแข็งของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ DMLS นั้นหากเป็นเหล็กในกลุ่มที่เรียกว่า เหล็กเกรด P20 เมื่อทำการสร้างชิ้นส่วนจากเครื่องเรียวร้อยแล้วจะมีค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 38-40 HRC แต่เมื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการอบในเตาอบ (Tempering) ที่อุณหภูมิประมาณ 350-400 °C ชิ้นงานที่ได้ก็จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 50-52 HRC (Siegfried) เนื่องจากรูปพรุนภายในเนื้อของวัสดุที่ลดลงทำให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้ทำการออกแบบแม่พิมพ์จึงต้องคำนึงถึงเหตุผลดังกล่าวนี้หากต้องการนำชิ้นงานที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการต่อไป



รูปที่ 18 ชิ้นงานแกนคอร์ที่ได้จากกระบวนการ DMLS



รูปที่ 19 ชิ้นงานแกนคอร์ที่ผ่านกระบวนการ EDM และขัดผิว

การทดลองฉีดพลาสติก

เมื่อได้ชิ้นส่วนแกนคอร์ที่มีระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานภายในเรียบร้อยแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดลองฉีดพลาสติกตามเงื่อนไขในการฉีดที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex3D R11.0 ซึ่งเครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในการทดลองนั้นจะเป็นเครื่องฉีดขนาด 150 ตัน และใช้น้ำมันในการหล่อเย็น เนื่องจากป้องกันปัญหาการเกิดสนิมและตะกรันในระบบหล่อเย็น



รูป 20 เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง



รูป 21 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ในการทดลองฉีดพลาสติก

ในการต่อระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนั้น สำหรับระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานของชิ้นส่วนแกนคอร์จะทำการตั้งค่าอุณหภูมิของสารหล่อเย็นอยู่ที่ 25 °C เนื่องจากป้องกันปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากเกินไป และป้องกันปัญหาชิ้นงานติดอยู่กับแม่พิมพ์เนื่องจากชิ้นงานหดตัวและรัดแน่นอยู่กับชิ้นส่วน แกนคอร์ซึ่งผลจากการทดลองนั้น เวลาที่ใช้ในการผลิตต่อรอบอยู่ที่ 55 วินาที และชิ้นงานที่ได้ไม่ต้องนำไปทำการใส่แกนเหล็กเพื่อป้องกัน ปัญหาชิ้นงานบิดตัวและเสียรูปดังที่แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งสามารถลดเวลาในขั้นตอนนี้ลงไปได้อีก 120 sec นอกจากนั้นชิ้นงานยังมีอัตราของเสียลดลง

เนื่องจากการสะสมความร้อนที่ชิ้นส่วนแกนคอร์ดนั้นลดลงอย่างมาก ทำให้ไม่เกิดการสะสมความร้อนที่ชิ้นงานซึ่งเป็นสาเหตุของการเสียรูปที่บริเวณส่วนคอของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบการทดลองฉีดชิ้นงานด้วยระบบหล่อเย็นแบบเดิมแต่ไม่ใส่แกนเหล็กกับใช้ระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานอย่างละจำนวน 50 ชิ้นและทำการเปรียบเทียบอัตราของเสียที่เกิดจากชิ้นงานเสียรูปพบว่าสามารถลดของเสียได้ประมาณ 85%

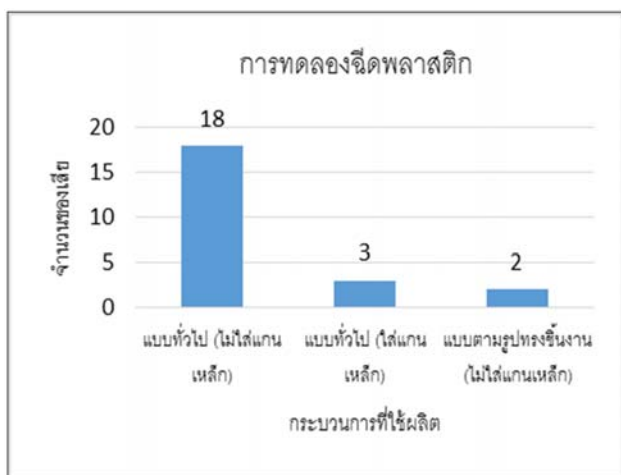


รูปที่ 22 แม่พิมพ์ขณะทำการทดลองฉีดพลาสติก



รูปที่ 23 ชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการผลิต

กราฟที่ 1 จำนวนของเสียที่เกิดจากการผลิต



ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบการทดลองฉีดชิ้นงานด้วยระบบหล่อเย็นแบบเดิมแต่ใส่แกนเหล็กกับใช้ระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานอย่างละจำนวน 50 ชิ้นและทำการเปรียบเทียบอัตราของเสียที่เกิดจากชิ้นงานเสียรูปพบว่าอัตราการเกิดของเสียใกล้เคียงกันแต่ระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานจะใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่าประมาณ 120 วินาที

สรุปผลการทดลอง

ระบบหล่อเย็นแบบตามชิ้นงานสามารถใช้แก้ปัญหาอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของระบบหล่อเย็นแบบธรรมดาได้ ซึ่งจะทำให้การใช้ระยะเวลาต่อรอบในการผลิตนั้นลดลงและยังช่วยแก้ปัญหาการบิดตัวและเสียรูปของชิ้นงานอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิแม่พิมพ์ในส่วนที่ไม่สามารถทำการเจาะรูสารหล่อเย็นได้ ในกรณีของงานวิจัยชิ้นนี้ระบบหล่อเย็นแบบตามรูปทรงชิ้นงานได้ถูกสร้างขึ้นภายในชิ้นส่วนแกนคอร์ดซึ่งมีขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นส่วนโค้งซึ่งไม่สามารถทำการสร้างระบบหล่อเย็นด้วยวิธีการเจาะรูแบบทั่วไปได้ ซึ่งการประยุกต์ใช้วิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่อง DMMS มาใช้ในการสร้างระบบหล่อเย็นสำหรับชิ้นงานตัวอย่างนั้น สามารถลดขั้นตอนในการนำชิ้นงานมาทำให้เย็นตัวภายนอกได้ซึ่งทำให้ลดระยะเวลาในการผลิตลงได้ 120 sec และยังช่วยลดอัตราการเกิดของเสียอันเนื่องมาจากชิ้นงานบิดตัวและเสียรูป ซึ่งเกิดจากการสะสมความร้อนที่ชิ้นส่วนแม่พิมพ์และส่งผลมายังชิ้นงานฉีดพลาสติกเมื่อทำการผลิตจริง

เอกสารอ้างอิง

H. S. PARK and N. H. PHAM, 2009, "Design of Conformal Cooling Channels for an Automotive Part", *International Journal of Automotive Technology*, 10(1), 87-93.

Branislav Duleba, Prof. Ing. František GREŠKOVIČ, 2010 CSc, "Conformal Cooling for Plastics Injection Moulding", *It-Strojar.SK*, Department of Technologies and Materials, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice, Letná 9.

Jonathan Meckley, Robert Edwards, 2009, "A Study on the Design and Effectiveness of Conformal Cooling Channels in Rapid Tooling Insert", **The Technology Interface Journal**. 10(1), 115-133.

L-E Rännar, A Glad, C-G Gustafson, 2007, "Efficient Cooling With Tool Inserts Manufactured by Electron Beam Melting", **Rapid Prototyping Journal**, 13(3), 128-135.

L-E Rännar, 2003, "Efficient Cooling of FFF Injection Molding Tools with Conformal Cooling Channels, An Introductory Analysis", **1:st International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping**, 433-437 Leiria, Portugal

Dong-Gyu Ahn, Seung-Hwa Park and Hyung-Soo Kim, 2010, "Manufacture of an Injection Mould with Rapid and Uniform Cooling Characteristics for the Fan Parts Using a DMT Process", **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, 11(6): 915-924,

KAZMER, D., 2007 "Injection Mold Design Engineering", ISBN 978-3-446-41266-8, 401s, Cincinnati, Ohio, Hanser Garden Publications.

Siegfried Mayer, "Optimizing Mould Temperature Control for Better Products", EOS GmbH, Retrieved May 20, 2013, from http://www.compositesworld.com/uploadedFiles/Publications/MMS/Articles/Internal/EOS_WP_DMLS2_ENG_12.pdf.



>> มนัส เหมัญญกิจ

สำเร็จการศึกษาปริญญาโท (ว.ท.ม.) สาขาวิศวกรรมการผลิต พ.ศ. 2552 ปริญญาตรี (อ.สบ.) สาขาวิศวกรรมเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบแม่พิมพ์) พ.ศ. 2544 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ ประจำสาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



>> สถาพร ชาดาคม

สำเร็จการศึกษาปริญญาโท (ค.อม.) สาขาเครื่องกล พ.ศ. 2538 ปริญญาตรี (ค.อบ.) สาขาเครื่องกล พ.ศ. 2528 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



>> ศักดิ์ชัย ม่วงภาณี

สำเร็จการศึกษาปริญญาโท (ว.ท.ม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล พ.ศ. 2551 ปริญญาตรี (อ.สบ.) สาขาวิศวกรรมเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบแม่พิมพ์) พ.ศ. 2547 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ