

การศึกษาการใช้ทองแดงฝังในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก สำหรับเทอร์โมพลาสติก

กลุ่ม Semi Crystalline

Study of Copper Insert in Plastics Injection Mold for Semi Crystalline Thermoplastics

สถาพร ชาดาคม¹ ซาลี ตระการกุล² และ อุเทน คณะวาปี³

บทคัดย่อ

ในงานฉีดพลาสติก จำนวนเวลาต่อการฉีด (Cycle Time) กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ต้องสูญเสียไปกับเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการหล่อเย็น ถ้าสามารถลดเวลาหล่อเย็นให้สั้นลงได้ จะทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นด้วย งานวิจัยนี้ได้เสนอผลการ ศึกษาหาวิธีการลดเวลาหล่อเย็นในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อเย็น ด้วยการใช้ทองแดงฝังเข้าไปในแม่พิมพ์ ในการทดลองใช้การจำลองการฉีด โดยใช้โปรแกรมทางด้าน CAE เข้ามาช่วยเพื่อช่วยวิเคราะห์ และทำนายผลชิ้นงาน พิจารณาเงื่อนไขของ ค่าเวลาเย็นตัว (Time to Freeze) ค่าความลึกของรอยยุบตัว (Sink Mark Depth) ค่าการบิดตัว (Warpage) และค่าเวลาต่อการฉีด (Cycle Time) กรณีศึกษา ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้พลาสติก PP (Polypropylene) ซึ่งเป็นพลาสติกในกลุ่ม Semi Crystalline Thermoplastic จากผลการวิจัยพบว่า การใช้ทองแดงฝังในแม่พิมพ์จะช่วยลดเวลาต่อการฉีดลงได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มที่จะช่วยลดการเกิดรอยยุบตัวได้ แต่การบิดตัวและโก่งตัวของชิ้นงานมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับ รูปร่างของชิ้นงาน และปริมาณของทองแดงที่ฝังในแม่พิมพ์

คำสำคัญ : คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์การไหลตัวของพลาสติก, รอยยุบตัว, การบิดตัว

Abstract

For plastic injection application, more than 50 percent of cycle time is loosen by the cooling process time. If the time of cooling process can be reduced, the productivity is expectly increased. This research aims to study on how to reduce the shortest time of cooling process. In this research the strategy is used to increase the efficiency of cooling system by means of incorporate copper into the mold. In the experiment the plastic injection is simulate by using CAE program to analysis and prediction of sample work piece. The setup condition parameters of experiment are considered such as time to freeze, sink mark depth, warpage, and cycle time. We select the poly- propylene (PP) type, which is the group of semi crystalline thermoplastic, to this experiment. From the result we found that incorporate copper into the mold can reduce 40 percent of cycle time for plastic injection system, and trend to reduce sink mark depth of work piece. In opposition, tendency of warpage and deflection characteristics is increased. This behavior is happen due to shape of work piece and quantity of copper incorporated to the mold.

Keywords : CAE for plastics analysis, sink mark depth, warpage

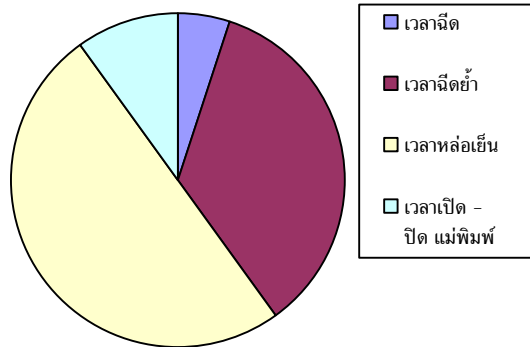
¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

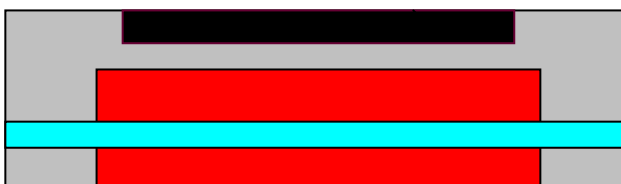
1. บทนำ

ในเวลา 1 รอบการฉีด ของการฉีดพลาสติกจะประกอบไปด้วย เวลาฉีด, เวลาฉีดเย็น, เวลาเปิด-ปิดแม่พิมพ์และเวลาหล่อเย็น ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เวลาต่าง ๆ ใน 1 รอบการฉีด

ซึ่งจากรูปที่ 1 เราจะเห็นว่ากว่าครึ่งของเวลาทั้งหมดคือเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น ดังนั้นถ้าเราสามารถลดเวลาหล่อเย็นได้ เราก็จะสามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้เช่นกัน ซึ่งจะทำได้ขึ้นอยู่กับต้นทุนในการผลิตชิ้นงานของเราลดลง ทำให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางการตลาดได้ หนึ่งในวิธีการลดเวลาหล่อเย็นคือการใช้ธาตุที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนสูงเข้ามาช่วยเช่น ทองแดง และ อลูมิเนียม ซึ่งในงานวิจัยนี้เราจะเลือกใช้ทองแดงเป็นตัวช่วยในการหล่อเย็น แต่ทองแดงที่ใช่ เราจะไม่ใช่ทองแดง กลุ่ม Beryllium Copper ซึ่งเป็นทองแดงที่มีการเติมธาตุต่าง ๆ เข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำเบ้าพิมพ์โดยตรง แต่ราคาของ Beryllium Copper สูงมากจนอาจจะไม่คุ้มกับต้นทุนการผลิตในบางชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้เราจะใช้ทองแดง ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งเป็นทองแดงบริสุทธิ์เกือบ 100 % แต่ทองแดงดังกล่าวไม่สามารถนำมาทำเบ้าพิมพ์โดยตรงได้ เนื่องจากความแข็งแรงต่ำซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้น ดังนั้นเราจึงใช้วิธีฝังทองแดงเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยวางตำแหน่งให้อยู่ใต้เบ้าพิมพ์ดังในรูปที่ 2 ซึ่ง Mellinger^[4] ได้ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อน ระหว่างอลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloy) กับเหล็กโดยการจำลองในโปรแกรม C-MoldTM ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการไหลตัวของพลาสติก และเขาพบว่า การใช้อลูมิเนียมทำเบ้าพิมพ์ สามารถลดเวลาหล่อเย็นในแม่พิมพ์ (Cooling time) ลงได้



รูปที่ 2 การฝังทองแดงในแม่พิมพ์

2. วิธีดำเนินงานและผลที่ได้รับ

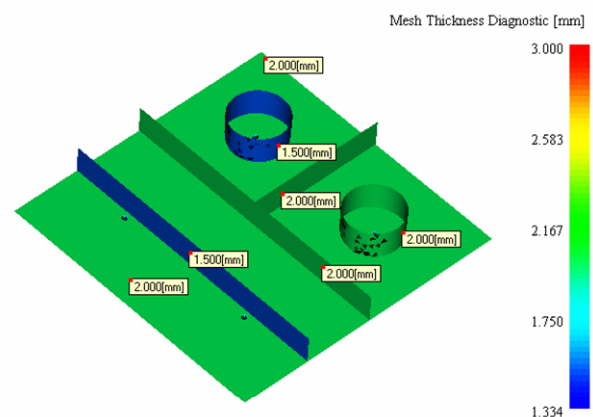
ในการดำเนินการวิจัยเราจะใช้วิธีวิเคราะห์ จำลองการไหลตัวของพลาสติกในโปรแกรม CAE เพื่อช่วยในการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ซึ่งพลาสติกที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ พลาสติกในกลุ่ม Semi Crystalline โดยเราจะเลือกใช้ชนิด Polypropylene (PP) เนื่องจากพลาสติกในกลุ่มดังกล่าวจะมีการหดตัวและยุบตัวสูง

2.1 ผลกระทบของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อการเกิดรอยยุบ

ในการวิเคราะห์เราจะใช้ทองแดงฝังในแม่พิมพ์โดยกำหนดให้มีระยะห่างแตกต่างกันดังนี้

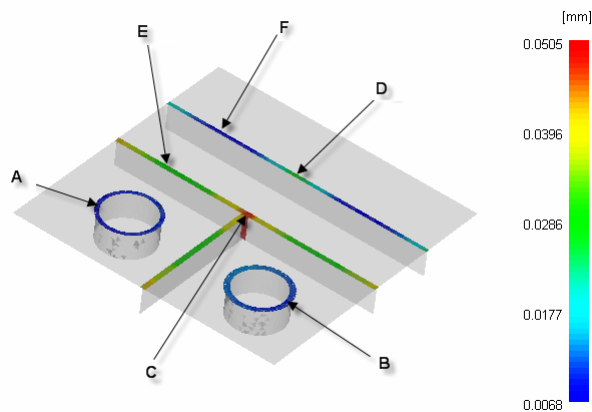
- แม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กอย่างเดียว (เลือกใช้เหล็ก P20)
- แม่พิมพ์ที่มีทองแดงฝังขนาดความหนาเท่ากับ 15% ของความหนาแผ่นแม่พิมพ์ถึงผนังเบ้าพิมพ์
- แม่พิมพ์ที่มีทองแดงฝังขนาดความหนาเท่ากับ 30% ของความหนาแผ่นแม่พิมพ์ถึงผนังเบ้าพิมพ์
- แม่พิมพ์ที่มีทองแดงฝังขนาดความหนาเท่ากับ 45% ของความหนาแผ่นแม่พิมพ์ถึงผนังเบ้าพิมพ์
- แม่พิมพ์ที่มีทองแดงฝังขนาดความหนาเท่ากับ 60% ของความหนาแผ่นแม่พิมพ์ถึงผนังเบ้าพิมพ์
- แม่พิมพ์ที่มีทองแดงฝังขนาดความหนาเท่ากับ 75% ของความหนาแผ่นแม่พิมพ์ถึงผนังเบ้าพิมพ์
- แม่พิมพ์ที่ทำจากทองแดงอย่างเดียว

โดยออกแบบรูปร่าง และความหนาของชิ้นงาน ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ให้มีความหลากหลายดังในรูปที่ 2

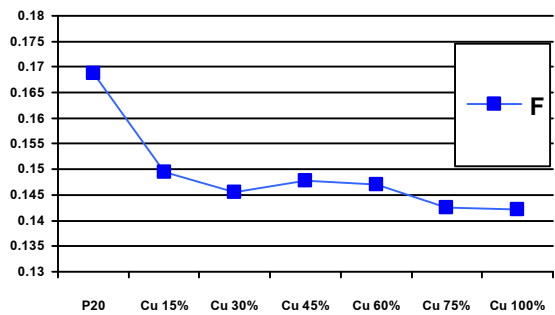


รูปที่ 3 รูปร่างและความหนาของชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากนั้นเราจะกำหนดจุดที่จะทำการวัดรอยยุบโดยเราจะกำหนดทั้งหมด 6 จุดดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 จุดต่าง ๆ ที่ทำการวัดรอยยุบ

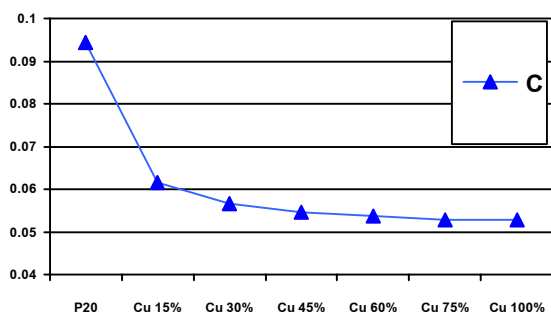


รูปที่ 5 ขนาดความลึกของรอยยุบที่จุด F

ตารางที่ 1 ขนาดรอยยุบที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน

	ขนาด รอยยุบ (มิลลิเมตร)						
	P20	Cu 15%	Cu 30%	Cu 45%	Cu 60%	Cu 75%	Cu 100%
A	0.0874	0.0684	0.0653	0.0639	0.0631	0.0628	0.0628
B	0.1069	0.0816	0.0783	0.0774	0.0771	0.0765	0.0758
C	0.0944	0.0616	0.0567	0.0547	0.0536	0.0528	0.0527
D	0.0525	0.0284	0.0250	0.0236	0.0218	0.0214	0.0215
E	0.0822	0.0513	0.0476	0.0459	0.0451	0.0444	0.0444
F	0.1688	0.1495	0.1456	0.1477	0.147	0.1425	0.1421

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าการฝังทองแดงในแม่พิมพ์มีแนวโน้มที่จะช่วยลดอัตราการเกิดรอยยุบตัวในชิ้นงานได้แต่อาจจะไม่สูงนัก ซึ่งเราจะเอาผลวิเคราะห์ในจุด C และจุด F มาสร้างเป็นกราฟเพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนดังในรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 4 ขนาดความลึกของรอยยุบที่จุด C

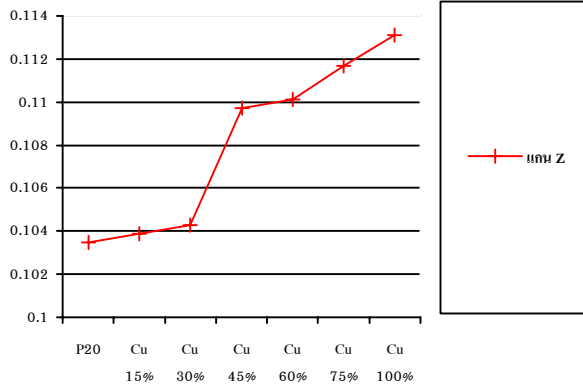
2.2 ผลกระทบต่อการหดตัวและบิดตัว

อัตราการเย็นตัวที่เร็วเกินไปอาจทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ชิ้นงานได้ ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวไม่เท่ากันและอาจจะทำให้เกิดการบิดตัวได้ ดังนั้นเราจึงควรศึกษาถึงผลกระทบของการฝังทองแดงในแม่พิมพ์ต่อการบิดตัวด้วย ในการวิจัยเราจะใช้ชิ้นงานตัวเดิมโดยวัดการบิดตัวตามแนวแกน X,Y,Z และการบิดตัวโดยรวมซึ่งจะได้ค่าการบิดตัวตามตารางที่ 2

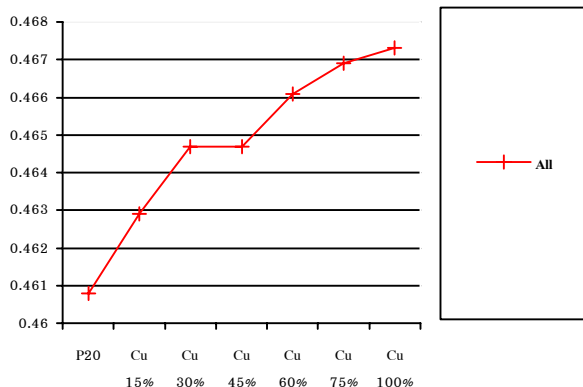
ตารางที่ 2 ขนาดการบิดตัวและหดตัวในแนวแกนต่าง ๆ

	ระยะการบิดตัวและหดตัว (Min. / Max. / ส่วนต่าง)						
	P20	Cu 15%	Cu 30%	Cu 45%	Cu 60%	Cu 75%	Cu 100 %
X	-0.3356	-0.3340	-0.3308	-0.3390	-0.3308	-0.3308	-0.3308
	0.3348	0.3330	0.3334	0.3333	0.3334	0.3333	0.3333
	0.6704	0.6670	0.6642	0.6723	0.6642	0.6641	0.6641
Y	-0.3356	-0.3360	-0.3379	-0.3381	-0.3382	-0.3381	-0.3381
	0.3202	0.3200	0.3222	0.3223	0.3224	0.3225	0.3226
	0.6558	0.6560	0.6601	0.6604	0.6606	0.6606	0.6607
Z	-0.0365	-0.0360	-0.0354	-0.0377	-0.0390	-0.0398	-0.0402
	0.0670	0.0679	0.0689	0.0720	0.0711	0.0719	0.0729
	0.1035	0.1039	0.1043	0.1097	0.1101	0.1117	0.1131
All	0.0058	0.0060	0.0062	0.0068	0.0056	0.0050	0.0047
	0.4666	0.4689	0.4709	0.4715	0.4717	0.4719	0.4720
	0.4608	0.4629	0.4647	0.4647	0.4661	0.4669	0.4673

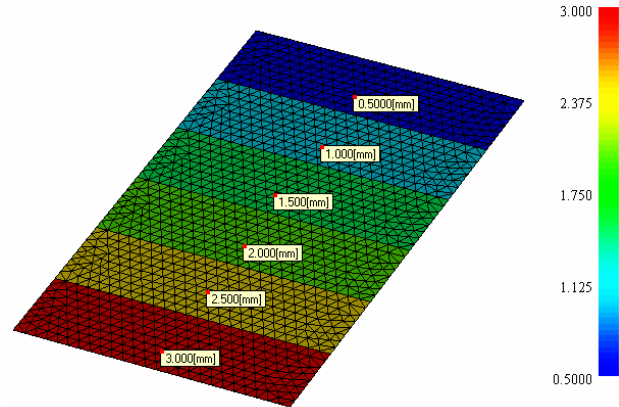
จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าการฝังทองแดงในแม่พิมพ์มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราการบิตตัวสูงขึ้นแต่ค่าความแตกต่าง น้อยมากจนไม่น่าจะส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานเมื่อเทียบกับการใช้เหล็กทำแม่พิมพ์เพียงอย่างเดียว เพื่อความชัดเจนเราจะนำค่าส่วนต่างของการบิตตัว (Max – Min) ในแกน Z และการบิตตัวโดยรวมมาสร้างเป็นกราฟดังในรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 6 ขนาดของการบิตตัวในแกน Z



รูปที่ 7 ขนาดของการบิตตัวโดยรวม



รูปที่ 8 ชิ้นงานและความหนาที่ใช้วิเคราะห์การแข็งตัว

ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานหนา 3 ม.ม.

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงเวลาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิแข็งตัว		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	14.940	0	0
Cu15%	14.110	0.83	5.55
Cu30%	13.970	0.97	6.49
Cu45%	13.910	1.03	6.89
Cu60%	13.870	1.07	7.16
Cu75%	13.850	1.09	7.29
Cu100%	13.840	1.1	7.36

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานหนา 2.5 ม.ม.

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงเวลาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิแข็งตัว		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	10.370	0	0
Cu15%	9.788	0.582	5.61
Cu30%	9.688	0.682	6.57
Cu45%	9.645	0.725	6.99
Cu60%	9.622	0.748	7.21
Cu75%	9.602	0.768	7.40
Cu100%	9.601	0.769	7.41

2.3 ผลกระทบต่อการแข็งตัวของชิ้นงาน

ในขณะที่ชิ้นงานพลาสติกเย็นตัวลงภายในเนื้อของชิ้นงานจะเกิดเป็นชั้นของแข็ง (Frozen Layer) โดยจะเริ่มเกิดจากด้านนอกที่สัมผัสกับผิวแม่พิมพ์เข้าสู่แกนกลางของชิ้นงานจนเย็นตัวและเกิดเป็นของแข็งทั้งหมด ในการวิเคราะห์ เราได้ทำการออกแบบชิ้นงานขึ้นมาใหม่โดยให้มีความหนาที่แตกต่างกันเพื่อจะดูผลกระทบของการเกิดชั้นของแข็งต่อความหนาดังในรูปที่ 8

ในการวิเคราะห์ผลเราจะใช้ผลวิเคราะห์ Time to Freeze ดังในรูปที่ 9 เป็นตัวเทียบผล ซึ่งผลวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นค่าเวลาเฉลี่ยการแข็งตัวของชิ้นงาน และจากการวิเคราะห์ จะได้ค่าการเย็นตัวที่ความหนาต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 5 เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานหนา 2 ม.ม.

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงเวลาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิแข็งตัว		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	6.577	0	0
Cu15%	6.245	0.332	5.04
Cu30%	6.185	0.392	5.96
Cu45%	6.163	0.414	6.29
Cu60%	6.147	0.430	6.53
Cu75%	6.139	0.438	6.65
Cu100%	6.135	0.442	6.72

ตารางที่ 6 เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานหนา 1.5 มม.

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงเวลาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิแข็งตัว		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	3.641	0	0
Cu15%	3.495	0.146	4.00
Cu30%	3.468	0.173	4.75
Cu45%	3.455	0.186	5.10
Cu60%	3.451	0.190	5.21
Cu75%	3.447	0.194	5.32
Cu100%	3.445	0.196	5.38

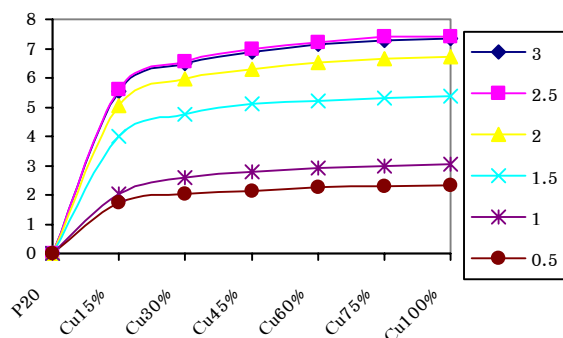
ตารางที่ 7 เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานหนา 1 มม.

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงเวลาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิแข็งตัว		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	1.577	0	0
Cu15%	1.545	0.032	2.02
Cu30%	1.536	0.041	2.59
Cu45%	1.533	0.044	2.79
Cu60%	1.531	0.046	2.91
Cu75%	1.530	0.047	2.98
Cu100%	1.529	0.048	3.04

ตารางที่ 8 เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานหนา 0.5 มม.

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงเวลาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิแข็งตัว		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	0.3908	0	0
Cu15%	0.3840	0.0068	1.74
Cu30%	0.3829	0.0079	2.02
Cu45%	0.3824	0.0084	2.14
Cu60%	0.3819	0.0089	2.27
Cu75%	0.3818	0.0090	2.30
Cu100%	0.3817	0.0091	2.32

จากข้อมูลในตารางที่ 3 ถึง 8 ถ้าเรานำ ร้อยละของเวลาที่ลดลงมาสร้างกราฟใหม่จะได้ดังในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ร้อยละของเวลาเย็นตัวที่ลดลงเมื่อใช้ทองแดงแบบต่างๆ

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าการฝังทองแดงในแม่พิมพ์จะช่วยลดเวลาเย็นตัวลงได้ โดยเฉพาะในชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมาก ๆ จะเห็นว่าการลดลงได้ถึง 8 % แต่ในชิ้นงานที่มีความหนาไม่มากนักอาจจะไม่ส่งผลกระทบต่อให้เห็นได้อย่างชัดเจน

2.4 ผลกระทบต่อรอบเวลาการฉีด (Cycle Time)

จากผลวิเคราะห์ทั้งของเวลาแข็งตัวแล้วยังไม่สามารถนำค่าดังกล่าวมาประเมินเป็นผลกระทบต่อเวลาหล่อเย็นและรอบเวลาการฉีดได้ เนื่องจากผลวิเคราะห์ดังกล่าว เป็นค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัดซึ่งอาจจะมีบางจุดในชิ้นงานยังไม่แข็งตัวจริง ๆ ดังนั้นเราจึงจะทำการวิเคราะห์ใหม่โดยใช้ชิ้นงานเดิมทั้ง 2 ชิ้น แต่ในการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์เราจะไม่กำหนดเวลาหล่อเย็นให้ตายตัว เราจะใช้วิธีกำหนดเป็นเงื่อนไขการปลดชิ้นงานซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ในการวิเคราะห์เราจะให้ชิ้นงานปลดที่อุณหภูมิ 70 °C และต้องเกิดขึ้นของแข็งในชิ้นงาน 100% โดยเราจะให้ชิ้นงานในรูปที่ 3 เป็นชิ้นงาน Model A และชิ้นงานในรูปที่ 8 เป็นชิ้นงาน Model B ซึ่งจากการวิเคราะห์เราได้ค่าเวลาต่อรอบการฉีดดังนี้

ตารางที่ 9 เวลาต่อรอบการฉีดของชิ้นงาน Model A

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงรอบเวลาจนถึงการปลดชิ้นงาน (Cycle Time)		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	39.87	0	0
Cu15%	35.42	4.45	11.16
Cu30%	32.13	7.74	19.41
Cu45%	28.68	11.19	28.06
Cu60%	25.98	13.89	34.83
Cu75%	23.50	16.37	41.05
Cu100%	14.05	25.82	64.76

ตารางที่ 10 เวลาต่อรอบการฉีดของชิ้นงาน Model B

วัสดุแม่พิมพ์	ช่วงรอบเวลาจนถึงการปลดชิ้นงาน (Cycle Time)		
	เวลา	ผลต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
P20	27.24	0	0
Cu15%	24.35	2.89	10.60
Cu30%	22.54	4.7	17.25
Cu45%	20.13	7.11	26.10
Cu60%	18.42	8.82	32.37
Cu75%	15.55	11.69	42.91
Cu100%	9.53	17.71	65.01

จากตารางที่ 9 และตารางที่ 10 จะเห็นว่าการฝังทองแดงในแม่พิมพ์สามารถช่วยลดเวลาในการฉีดได้ถึง 40% ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของทองแดงที่ฝัง รูปร่างและขนาดของชิ้นงาน

3. ข้อเสนอแนะในการฝังทองแดง

ในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้ทองแดงฝังควรคำนึงถึงผลกระทบต่างๆ ดังนี้

1. จุดคุ้มทุน เนื่องจากการฝังทองแดงต้องใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มในการทำแม่พิมพ์ดังนั้นเราจึงต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่จะตามมาเทียบกับการลดลงของเวลาฉีดว่าคุ้มกันหรือไม่

2. ความลึกของทองแดงที่ฝัง จากผลวิเคราะห์จะเห็นว่าถ้าเราฝังทองแดงใกล้กับปั๊มเท่าไร ยิ่งช่วยลดเวลาต่อการฉีดลงได้มากแต่ในการสร้างแม่พิมพ์ เราต้องเลือกเนื้อที่เป็นเหล็กไว้สำหรับนำเส้นสลักต้นปลต เนื่องจากต้องมีการเสียดสีกันอยู่ตลอดเวลาจึงควรให้บริเวณดังกล่าวเป็นเหล็ก

3. ขนาดความหนาของแผ่นทองแดง แผ่นทองแดงที่ใช้ต้องมีความหนาพอสมควร เพราะเราต้องเจาะรูนำหล่อเย็นในทองแดง ซึ่งปกติขนาดของรูนำหล่อเย็นจะอยู่ที่ประมาณ $\varnothing 6 - \varnothing 12$ มม. ดังนั้นทองแดงควรมีความหนาน้อย 15 มม.

4. สรุป

จากผลการวิเคราะห์เราจะเห็นว่าการใช้ทองแดงฝังในแม่พิมพ์จะช่วยลดเวลาหล่อเย็นได้ โดยที่ประสิทธิภาพของการหล่อเย็นจะขึ้นอยู่กับชิ้นงาน ขนาดและตำแหน่งของทองแดงที่ฝัง ซึ่งถ้าเราฝังทองแดงมากและใกล้กับปั๊มเท่าไรก็ยิ่งช่วยลดเวลาหล่อเย็นลงได้ แต่ในการฝังทองแดง ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น จุดคุ้มทุน การเผื่อความหนาเหล็กสำหรับนำเส้นระบบปลต และขนาดของรูนำหล่อเย็นที่ใช้ด้วย เงื่อนไขเหล่านี้ อาจทำให้ ไม่สามารถฝังทองแดงเข้าใกล้กับปั๊มมากได้ นอกจากจะช่วยในการหล่อเย็นแล้ว ในการฝังทองแดงในแม่พิมพ์ยังมีแนวโน้มที่จะสามารถช่วยลด การเกิดรอยยุบตัวในชิ้นงานแต่ก็อาจจะเพิ่มขนาดการบิดตัวของชิ้นงานได้เช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันไทย-เยอรมัน ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท จุลพัฒนพลาสติก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และให้เก็บข้อมูลในการวิจัย ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1.] Natraj, I. A Study of the Use of Aluminum Alloy Molds on Heat Transfer Rate and Sink Marks in Plastic Injection Molding M.S. Thesis Purdue University : West Lafayette, c2000
- [2.] Menges, G., Michaeli, W. and Mohren, P. How to Make Injection Molds 3rd ed. Cincinnati : Hanser Gardner, c2000.
- [3.] Isaias, S. A Study of Heat Transfer Characteristics of Copper Alloy Materials for use in Injection Molding M.S. Thesis Ohio State University :Columbus OH, c1991
- [4.] Mellinger, D.C. Heat Transfer Analysis of an Injection Molding System M.S. Thesis University of Kentucky :Lexington KY, c1997
- [5.] Battey, D.J., Sink Mark Prediction in Injection Molded Plastic Parts by Finite Element Analysis M.S. Thesis Michigan Technological University : Houghton MI, c1997