

ศึกษาสมบัติทางกลที่ดีที่สุดของ อลูมิเนียม-ซิลิคอน เกรด A356 ที่ผสมกระป๋องเครื่องดื่มที่ได้จากรีไซเคิล
และผ่านการสันสะเทือนทางกล

Study of the optimum mechanical properties of aluminium-silicon grade A356 mixed with recycle
beverage can and mechanical vibration.

ดิสนีย์ ชาติเศรษฐพงษ์

อ.ดร. อ.ดร.ปริญญา จ้อยเจิม

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3420 โทรสาร. 0-2549-3422 E-mail: fengntk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกลของอลูมิเนียม-ซิลิคอน เกรดA356 ที่ผสมกระป๋องเครื่องดื่มในอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม และแบ่งกระป๋องออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ตัวกระป๋อง, ฝากระป๋อง และ ตัวผสมฝากระป๋อง ผสมกันตามปริมาณที่กำหนดไว้ข้างต้น เพื่อหาปริมาณส่วนผสมและสมบัติทางกลที่ดีที่สุด ซึ่งจากการทดลองพบว่าในอัตราส่วน 10:110 กรัม ของตัวผสมฝาที่หลอมรวมกับอลูมิเนียม-ซิลิคอน ให้สมบัติที่ดีที่สุด หลังจากนั้นนำอลูมิเนียม-ซิลิคอน เกรดA356 ที่เติมตัวผสมฝากระป๋องทำการสันสะเทือนทางกลในแนวตั้งที่แอมพลิจูด 17.64, 28.46 และ 90.41 μm ในสภาวะกึ่งของแข็ง จากผลการทดลองการสันสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูด 90.41 μm มีสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงสูงสุดคือ 79.50 HV

คำสำคัญ : สภาวะกึ่งของแข็ง / เกรด A356 / การสันสะเทือนทางกล / สมบัติทางกล

Abstract

This dissertation is to study the mechanical properties of Al-Si grade A356 mixed with beverage can in the amount of 1:101, 5:105 and 10:110 Grams. Beverage can consists of 3 parts which are can body, can lid and mixed can lid and can body. Mixing amount is as above for determining the best amount and mechanical properties. From the experiment, the amount of 10:110 Grams of mixed can lid and can body fused with Al-Si give the best properties. Then, mechanical vibration property of Al-Si A356 fused with can lid is tested at amplitude of 17.64, 28.46 and 90.41 μm in semi-solid state.

The result shows the mechanical vibration at amplitude of 90.41 μm and the hardness is 79.50 HV.

Keywords: Semi-solid state / grade A356 / mechanical vibration / mechanical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันอลูมิเนียมจัดเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมต่างๆ เพิ่มมากขึ้น และแนวโน้มในการใช้งานสูงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะอลูมิเนียมมีสมบัติเด่นหลายด้าน เช่น ความสามารถในการหล่อ (Castability) ด้านทานการกัดกร่อน (Corrosion resistance) ทนต่อการสึกหรอ (Wear resistance) มีความแข็งแรง และ ความแข็งแรงสูง และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ (Low thermal expansion coefficient) เป็นต้น ซึ่งอลูมิเนียมที่นำมาศึกษาเป็นอลูมิเนียมเกรด A356 เป็นที่รู้จักและใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์กันอย่างแพร่หลาย เช่น ล้อ และชิ้นส่วนประกอบยานพาหนะ เนื่องจากมี ความเหนียวและความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ทำให้มีความต้องการในตลาดอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก

ในวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติอลูมิเนียมมีหลายวิธี เช่น การปรับปรุงโดยการเติมธาตุ และการปรับปรุงโดยการสันสะเทือนทางกล เป็นต้น วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรม โดยวิธีการเติมธาตุจะเติมในปริมาณน้อยลงไปเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอลูมิเนียมให้เป็นไปตามต้องการ ธาตุที่ผสมลงไปเพื่อทำ เป็นอัลลอยสามารถเพิ่มความแข็งแรง (strength) ความแข็ง (hardness) ความสามารถในการนำ ไฟฟ้าและความร้อน การต้านทานการกัดกร่อน หรือการเปลี่ยนสีของโลหะ เช่น แมกนีเซียม ช่วยเพิ่มความแข็งแรง หรือ แมกกาเนิส ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและการขึ้นรูปเป็นต้น [1] หรือ

การปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะอีกวิธี โดยการสันสเทือนทางกล เป็นการให้การแรงสันสเทือนในทิศขึ้นลงเพื่อให้อนุภาคเกิดการสันสเทือนทำให้โครงสร้างจุลภาคมีขนาดเด่นไครท์ที่กลมและละเอียดมากขึ้น มีผลช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเหนียว [2] ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ และสามารถนำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต ในปัจจุบันได้ทันที

คั้งนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการปรับปรุงสมบัติของอลูมิเนียมเกรด A356 ด้วยวิธีการเติมธาตุและการสันสเทือนทางกล โดยการเติมธาตุ Mg และ Mn ที่ได้จากการนำกระป๋องน้ำอัดลมมารีไซเคิลซึ่งในกระป๋องน้ำอัดลมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนฝาจะมีปริมาณแมกนีเซียมเป็นหลักซึ่งเป็นอลูมิเนียมเกรด 5182 และส่วนตัวกระป๋องจะมีปริมาณแมกนีเซียมเป็นหลักซึ่งเป็นอลูมิเนียมเกรด 3004 [3]โดยมีอัตราส่วนของอลูมิเนียมเกรด 3004,5182 ที่ผสมกับอลูมิเนียมเกรด A356 ที่แตกต่างกัน และนำไปสันสเทือนทางกล โดยน้ำหนักส่วนผสมของอลูมิเนียมเกรด 3004,5182 ที่ผสมและการสันสเทือนจะส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค (Microstructure), ลักษณะรูปร่าง (Morphology) และความแข็ง (Hardness) ของอลูมิเนียม A356

2.อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ชิ้นงานหล่อโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิกอนผสม เกรด A356 (Al-7%Si-0.4%Mg) น้ำหนัก 100 กรัม ถูกหลอมในเบ้าซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ความสูง 95 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 800°C ภายในเตาไฟฟ้า(Electric furnace) รุ่นModutemp1200 ดังในรูปที่1(ก) ภายหลังก้าน้ำอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการเติมกระป๋องเครื่องดื่มรีไซเคิลที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 530 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยเติม ตัวกระป๋อง ฝากระป๋อง และฝาผสมตัวกระป๋องเครื่องดื่มในอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม ตามลำดับ ทำการคนให้เข้าด้วยกันเป็นเวลา 1-2 นาที นำเข้าเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 30 นาที นำเบ้า ออกจากเตา ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ที่อุณหภูมิ 720 °C เพลงในเบ้ากราไฟท์ จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง อีกชุดการทดลองจะให้ระดับความรุนแรงการสันสเทือนทางกลอยู่ที่แอมพลิจูด 17.65, 28.46, และ90.41 ไมครอน โดยมีค่าความถี่ถึงที่ 50 Hz ปรับด้วยเครื่อง (Variat) หลังจากนั้นนำชิ้นงานจากการทดลองข้างต้นทำการตัดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์ภาพ (Image Analyzer) ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี และทดสอบความแข็ง ชนิด ไมโครวิกเกอร์ รุ่น MVK-H1 ยี่ห้อ MITUTOYO ใช้แรงกดทดสอบ 100 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที

3.ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ได้แก่ 1) อลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 2) ตัว และ 3) ฝากระป๋องจากเครื่องดื่มโค้กซีโร่ ด้วยเครื่อง Emission Spectrometer รุ่น ARL 3460 ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่ไม่ผ่านการหล่อมมีปริมาณซิลิกอนหลักร้อยละ 7.068 โดยน้ำหนัก ภายหลังกการหล่อขึ้นรูปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีอีกครั้งพบว่าปริมาณซิลิกอนลดลง เป็นร้อยละ 6.743 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นทำการวิเคราะห์ส่วนผสมของตัวและฝากระป๋องเครื่องดื่ม ซึ่งมีส่วนผสมหลักคือ แมกนีเซียม และแมกนีเซียม ตามลำดับ เมื่อทำการหล่อขึ้นรูปเพื่อตรวจสอบส่วนผสม ทำให้ทราบว่า แมกนีเซียม และแมกนีเซียม ของตัวและฝากระป๋องมีปริมาณร้อยละ 0.863 และ 2.832 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ตัว และฝากระป๋องเครื่องดื่ม

Code	Alloy	Si	Mg	Mn
A	A356(Ingot)	7.068	0.251	0.007
B	A356(Cast)	6.743	0.056	0.012
C	Body	0.315	0.476	0.863
D	Lid	0.171	2.832	0.403

3.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่ผสมรวมกับกระป๋องเครื่องดื่มโค้กซีโร่ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า อลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 หลอมรวมกับตัวกระป๋องในอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม ตามลำดับ มีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.016, 0.048 และ0.089 ตามลำดับ และยังพบว่าอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356 หลอมรวมฝากระป๋องในอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม มีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.117, 0.075 และ 0.437 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำ ตัวกับฝากระป๋องมาผสมรวมเข้าด้วยกันในอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม แล้วนำมาผสมรวมกับอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 พบว่าปริมาณ แมกนีเซียม และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.005, 0.035 และ 0.064 โดยน้ำหนัก และ 0.075, 0.135 และ 0.287 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

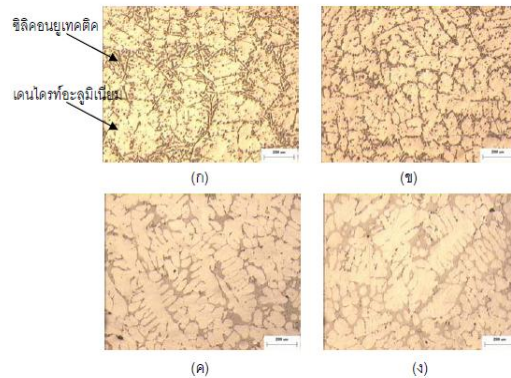
ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่ผสมตัวกระป๋อง ผ่ากระป๋องและผสมรวมตัวกับผ่ากระป๋องตามเงื่อนไขต่างๆ

Code	Alloy	Si	Mg	Mn
E	1:100 Body	6.123	0.030	0.016
F	5:105 Body	6.016	0.102	0.048
G	10:110Body	5.941	0.004	0.089
H	1:101 Lid	5.990	0.117	0.009
I	5:105Lid	5.936	0.075	0.021
J	10:110 Lid	5.756	0.437	0.042
K	1:101 (B+L)	6.094	0.075	0.005
L	5:105 (B+L)	5.933	0.135	0.035
M	10:110(B+L)	5.710	0.287	0.064

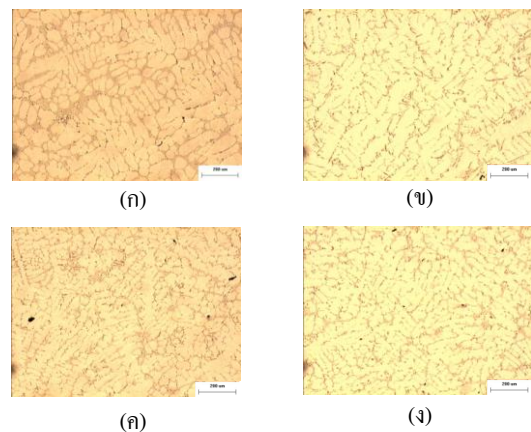
3.3 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 และผสมกระป๋องเครื่องดื่ม โกลด์ซีโร่ ที่ไม่มีการสันสะท้อนทางกล ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบว่าหลอมหลอมรวมตัวกระป๋องกับโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่ประกอบด้วยเฟสของอลูมิเนียม และเฟสยูเทคติกซิลิกอน (Eutectic Silicon) มีลักษณะเป็นเข็มยาวนั้น กลับทำให้ ยูเทคติกซิลิกอนมีรูปร่าง สั้น มนขึ้นน่าจะเกิดจากการตัวกระป๋องมีส่วนผสมหลักเป็นแมกนีเซียมทำให้ไปขัดขวางการโตของยูเทคติกซิลิกอน และยังไปรวมตัวกับ Al, Fe, และ Si กลายเป็นเฟส $Al_{13}(MnFe)_3Si_2$ (ศิริพลและคณะ, 2549; Shusen Wu, Lizhi Xie, Junwen Zhao and H. Nakae) อีกประการเกิดจากรู เหล็ก เนื่องจากอัตราการเย็นตัวช้าทำให้เกิดเฟส Al_3FeSi ที่มีลักษณะเป็นเข็มแหลม ซึ่งมีความแข็งแรงสูง ส่งผลเสียต่อสมบัติทางกล เมื่อเติมตัวกระป๋องส่งผลให้เกิดเป็นเฟส $Al_{13}(MnFe)_3Si_2$ จะมีลักษณะที่โค้งมนขึ้น เมื่อทำการหลอมรวมผสมผา และตัวผสมผากระป๋องกับโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 กลับพบว่า เฟสยูเทคติกซิลิกอนมีขนาดเล็กและมีความละเอียดมากที่สุด เนื่องจากผ่ากระป๋องเครื่องดื่ม โกลด์ซีโร่ มีปริมาณแมกนีเซียมเป็นหลัก เข้าไปหลอมรวมตัวกับซิลิกอนในอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 เกิดเป็น Mg_2Si (Backerud, et al., 1990; Donna, et al., 1993)

3.4 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 หลอมรวมกระป๋องเครื่องดื่ม โกลด์ซีโร่ ที่ทำการสันสะท้อนทางกล จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าการสันสะท้อนทางกลด้วยแอมพลิจูดที่ 28.46 และ 90.41 ไมครอนสามารถช่วยลดขนาดเดนไดรต์ของอลูมิเนียมและซิลิกอนยูเทคติกได้และยังช่วยให้รูปทรงสันฐานของเดนไดรต์ของเดนไดรต์อลูมิเนียมซิลิกอนยูเทคติกอลูมิเนียมและผลึกซิลิกอนยูเทคติกมีลักษณะมนมากขึ้นรวมทั้งมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ

มากขึ้น โดยอยู่ใน โครงสร้างเนื้อพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเดนไดรต์ อลูมิเนียม(alpha) รอบๆผลึกของซิลิกอนยูเทคติก ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่หลอมรวมกระป๋องเครื่องดื่ม โดยผ่านการสันสะท้อนทางกล (ก) A356 (ข) 10:110 กรัม ตัวกระป๋อง (ค) 10:110 กรัม ผ่ากระป๋อง (ง) 10:110 กรัม ตัวผสมผากระป๋อง

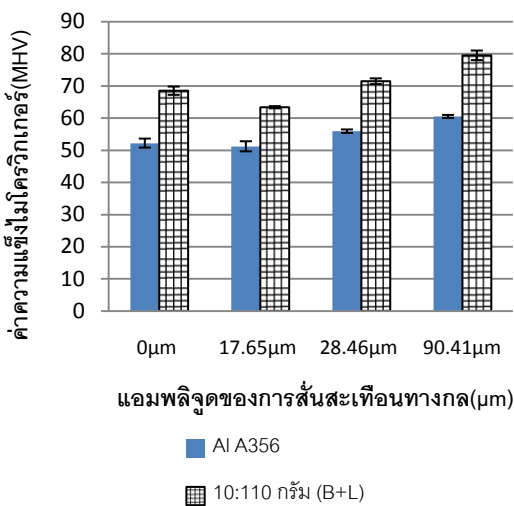


รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่ได้จากการเติมตัวและผ่ากระป๋อง เหนือโลหะที่อุณหภูมิ 720 °C และผ่านการสันสะท้อนทางกลที่แอมพลิจูด (ก) แอมพลิจูด 0 μm (ข) แอมพลิจูด 17.65 μm (ค) แอมพลิจูด 28.46 μm (ง) แอมพลิจูด 90.41 μm

3.5 ผลการวัดค่าความแข็งด้วยวิธี ไมโครวิกเกอร์ (MHV) ที่ผ่านการสันสะท้อนทางกลที่แอมพลิจูด 17.65, 28.46 และ 90.41 ไมครอน เมื่อทำการหลอมตัวผสมผากระป๋องเครื่องดื่ม ลงในอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ตามลำดับ พบว่ามีค่าความแข็ง คือ 63.35, 71.45 และ 79.50 HV ตามลำดับ การสันสะท้อนทางกลช่วยเพิ่มความแข็ง การหลอมตัวผสมผากระป๋องเครื่องดื่มลงในอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 จะส่งผลต่อค่าความแข็งมากที่สุดและยังพบอีกว่าค่าความแข็งของโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่ไม่ผสมกระป๋องเครื่องดื่มกลับมีความน้อยที่สุดคือ 51.38 HV ดังตารางที่ 3 และ รูปที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่เติมและไม่เติมกระป๋องเครื่องคัม พร้อมสันสะเทือนทาง กล

ชิ้นงานทดสอบ	ค่าความแข็งเฉลี่ย (HV)	Standard Deviation (SD)
A356 (0 μm)	51.38	2.4473
A356 (17.65 μm)	51.20	1.5684
A356 (28.46 μm)	55.90	0.5477
A356 (90.41 μm)	60.50	0.4690
10% B+L (0 μm)	68.50	1.2936
10%B+L(17.65 μm)	63.35	0.3416
10%B+L(28.46 μm)	71.45	0.8888
10%B+L(90.41 μm)	79.50	1.4989



รูปที่ 3 ค่าความแข็งเปรียบเทียบระหว่างอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356 ที่ผ่านการสันสะเทือนทางกลกับอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356 ที่เติมตัวผสมฝาระป๋องและผ่านการสันสะเทือนทางกล

4.สรุปผลการทดลอง

4.1 อลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356ที่หลอมรวมตัวกระป๋องจะมีปริมาณ แมงกานีสเพิ่มขึ้น และอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356 ที่ผสมฝาระป๋องจะมีปริมาณ แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการเติมตัวผสมฝาระป๋องหลอมรวมกับอลูมิเนียม-ซิลิกอนจะทำให้ส่วนผสมทางเคมี มีปริมาณแมงกานีสและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น

4.2 อลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่หลอมรวม ตัว, ฝา และ ตัวผสมฝาระป๋องทำให้โครงสร้างจุลภาคมียูเทคติกซิลิกอนที่

สั้นลงและมีการกระจายตัวที่ดีขึ้นตามอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม ตามลำดับ

4.3 การสันสะเทือนทางกลในแนวตั้งมีผลต่อโครงสร้างจุลภาค โดยทำให้โครงสร้างจุลภาคมีขนาดแอลฟาอลูมิเนียมเล็กลงมีความละเอียดมากขึ้น ตามความแรงของการสันสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูด 17.65, 28.46 และ 90.41 μm ตามลำดับ

4.4 อลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่หลอมรวม ตัว, ฝา และ ตัวผสมฝาระป๋อง มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นโดยการเติมตัว, ฝา และ ตัวผสมฝาระป๋องทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน 1:101, 5:105 และ 10:110 กรัม ตามลำดับ และอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรด A356 ที่หลอมรวมฝาระป๋องให้ค่าความแข็งสูงสุดคือ 70.58 HV

4.5 อลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356 ที่ผ่านการสันสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูด 17.65, 28.46 และ 90.41 μm มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและเมื่อเติมกระป๋องและสันสะเทือนทางกลจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่าการสันสะเทือนทางกลอย่างเดียว ค่าความแข็งของอลูมิเนียม-ซิลิกอน เกรดA356 ที่หลอมรวมตัวผสมฝาระป๋องและผ่านกานสันสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูด 90.41 μm ให้ค่าความแข็งสูงสุดคือ 79.50 HV

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทดลอง

ขอขอบคุณ รศ.ดร.เขาวลิต ลิ้มณีนิจิตร, โลกการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ให้การสนับสนุน ingot Al A356

7.เอกสารอ้างอิง

นายศิริพล ศรีท้าว, นายเอกวัฒน์ บุญมี และนายธนวุฒิ จารุรักษ์,2549,การศึกษาสมบัติเชิงกลของโลหะผสม Al-7Si ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Shusen Wu, Lizhi Xie, Junwen Zhao and H. Nakae, Formation of non-dendritic microstructure of semi-solid aluminum alloy under vibration, Scripta Materialia 58, pp 556-559

Backerud, L., et al., 1990. Solidification Characteristics of Aluminum Alloys. Vol. 2. AFS.