

บรรณานุกรม

1. Zaki Ahmad , 2003, "The Properties and Application of Scandium-Reinforced Aluminum", Aluminum Composites, JOM , p.35-39
2. Wattanachai Prukkanon, Nakorn Srisukhumbowornchai, Chaowalit Limmaneevichitr, 2009, "Modification of hypoeutectic Al-Si alloys with scandium, Journal of alloys and compounds", p.454-460
3. Wattanachai Prukkanon, Satit Chanpum, Chaowalit Limmaneevichitr, 2008, "Effect of Sc on Precipitation Hardening of AlSi6Mg Alloy", Journal of Materials science and Technology, p.17-20
4. M.S. Kaiser, S. Datta, A. Roychowdhury, M.K. Banerjee, 2008, "Effect of Scandium Additions on the Tensile Properties of Cast Al-6Mg alloys", Journal of Materials Engineering and Performance, p.902-907
5. Liang Zou, Qing-Lin Pan, Yun-Bin He, Wen-Jie Liang, Chang-Zhen Wang, 2008, "Microstructures and tensile properties of Al-Zn-Cu-Mg-Zr alloys modified with Scandium", Materials Science, p.120-125
6. V. V. Zakharov, T. D. Rostova, 2007, "Effect of Scandium, Transition Metals, and Admixtures on Strengthening of Aluminum alloys due to decomposition of the solid solution", Metal science and Heat Treatment, p.435-442
7. Woei-Shyan Lee, Tao-Hsing Chen, 2006, "Rate-dependent deformation and dislocation substructure of Al-Sc alloy", Scripta Materialia, p.1463-1468
8. Emmanuelle A. Marquis, David N.Seidman, 2006, " Composition evolution of nanoscale Al₃Sc precipitates in an Al-Mg-Sc alloy: Experiments and computations", Acta Materialia, p.119-130
9. Mohamad Noor Desmukh, R.K. Pandey ,A.K. Mukhopadhyay, 2005 , "Fatigue behavior of 7010 aluminum alloy containing scandium", Scripta Materialia ,p. 645-650
10. Genki Sakai, Zenji Horita, Terence G. Langdon, 2005 , " Grain Refinement and Superplasticity in an Aluminum Alloy Processed by high-pressure torsion" Material Science and Engineering A393 ,p.344-351



11. Kun Yu, Wenxian Li, Songrui Li, Jun Zhao, 2004 , "Mechanical properties and microstructure of aluminum alloy 2618 with Al₃(Sc, Zr) phases", Material Science and Engineering A368 ,p.88-93
12. Jin, T N; Nie, Z R; Xu, G F; Ruan, H Q; Yang, J J; Fu, J B; Zuo, T Y,2004, "Effects of cooling rate on solidification behavior of dilute Al-Sc and Al-Sc-Zr solid solution", Transactions of the Nonferrous Metals Society of China. Vol. 14, no. 1, pp. 58-62.
13. Riddle Y W, Paris H G, Sanders T H J,1998, "Control of recrystallization in Al-Mg-Sc-Zr alloys", Japan Institute of Light Metals, Tsukamoto Sozan Bldg , 6F, 4-2-15 Ginza, Chuo-ku, Tokyo, 104-0061
14. Vijiya, S. and Satya, K., 2004, "Effect of minor Sc additions on structure, age hardening and tensile properties of aluminium alloy AA8090 plate", Scripta Materialia, p. 903-908
15. Min,BK , Kim B H,Kang S B, 2003, "Precipitation Behavior of Sc and Zr in Severe Plastic Deformed Al", Journal of the Korean Institute of Metals and Materials. Vol. 41, no. 11, pp. 729-736
16. Van Dalen, ME ,Dunand D.C, Sedman D N, 2003, "Precipitation strengthening in Al (Sc,Ti) alloys.", Minerals, Metals and Materials Society (TMS), 184 Thorn Hill Road, Warrendale, PA, 15086-7528, USA
17. Verma P K, Kumar, M, Pathak L C, Venkateswarlu,K , 2003, "Effect of Al₃Sc dispersoids on grain refinement and mechanical properties of Al and its alloys" Transaction of the Indian Institute of Metal. Vol 56, pA21
18. Marquis,EA ,Seidman D N, Dunand D C, 2003,"Effect of Mg addition on the creep and yield behavior of an Al-Sc alloy" Acta Materialia. Vol. 51, no. 16, pp. 4751-4760
19. Seidman, D N,Marquis E A, Dunand D C, 2002, "Precipitation strengthening at ambient and elevated temperatures of heat-treatable Al(Sc) alloys" , Acta Materialia. Vol. 50, no. 16, pp. 4021-4035

20. Berezina A L, Shmidt U ,etc, 2002, "Structure transformations in rapidly quenched binary Al-Sc alloys" , *Metallofizika I Novejshie Tekhnologii*. Vol. 24, no. 2, pp. 221-234
21. Singh V, Prasad K S, Gokhale A A, 2002, "Solidification structure of aluminium with trace additions of Sc and Zr" , *Solidification structure of aluminium with trace additions of Sc and Zr*
22. Vladivof, O. and Margarita, S., 200, "Resistance to recrystallization due to Sc and Zr addition of Al-Mg alloys", *Material Characterization*, pp.157-162.
23. Lathabai, S. and Lloyd, P.G., 2002, "The effect of scandium on the microstructure mechanical properties and weldability of a cast Al-Mg alloy", *Acta Materialia* 50, pp. 4275-4292.
24. Royset J, Hovland H, Ryum N, 2002, "An investigation of dilute Al-Sc-Si alloys" , *Materials Science Forum*. Vol. 396-402, Part 2, pp. 619-624
25. Hyde K B, Norman A F, Prangnell P B, 2001, "The effect of cooling rate on the morphology of primary Al sub 3 Sc intermetallic particles in Al-Sc alloys" ,*Acta Materialia*. Vol. 49, no. 8, pp. 1327-1337
26. Jin T ,Yin Z, Li D, 2001, "Crystal structure determination of a novel Ti-Al-Sc phase in Sc-doped TiAl alloy" , *Acta Metallurgica Sinica (China)*. Vol. 37, no. 3, pp. 225-229
27. Antonova M M, 2001, "Al-Sc system alloys resistance in hydrogen" , *Zhurnal Prikladnoj Khimii*. Vol. 74, no. 3, pp. 389-392
28. Fujikawa S, 1999, "Scandium in pure aluminum and aluminum alloys--its behavior and addition effects" , *Journal of Japan Institute of Light Metals*. Vol. 49, no. 3, pp. 128-144
29. Yin Z, Yin S, Huang B, 1999, "Effect of minor Sc on high temperature mechanical properties of Ti-Al based alloys" , *Materials Science and Engineering A*. Vol. 280, no. 1, pp. 204-207
30. A.F. Norman, P.B. Prangnell, R.S. McEwen, 1998, "The Solidification Behaviour of Dilute Aluminium-Scandium Alloys", *Acta mater*. Vol. 46 No. 16 ,p.5712-5732

31. Riddle, Y W; Sander T H, 2004, "A Study of Coarsening, Recrystallization, and Morphology of Microstructure in Al-Sc-(Zr)-(Mg) Alloys." *Metallurgical and Materials Transactions A*. Vol. 35A, no. 1, pp. 341-350A
32. Aleksandrovskii S V, Chizhikov V V, 1997, "The use of Al-Mg-Sc alloying compositions in the production of high-strength aluminum alloy" *Tsvetnaya Metallurgiya*. Vol. 2-3, pp. 29-34
33. Ganiev L V, 1995, "High-temperature and electrochemical corrosion of aluminum-scandium alloys", *Zashchita Metallov*. Vol. 31, no. 6, pp. 597-600
34. Parker B A, Zhou Z F, Nolle P, 1995, "The effect of small additions of scandium on the properties of aluminium alloys", *Journal of Materials Science*. Vol. 30, no. 2, pp. 452-458
35. Kharakterova M L, Eskin D G, Toropova L S, 1994, "Precipitation hardening in ternary alloys of the Al-Sc-Cu and Al-Sc-Si systems", *Acta Metall. Mater. (USA)*. Vol. 42, no. 7, pp. 2285-2290
36. K.Venkateswarlu, L.C. Pathak, A.K. Ray ,etc. ,2004 , "Microstructure tensile strength and wear behaviour of Al-Sc alloy", *Material Science and Eng.* ,p.374-380
37. Gruzleski, J. and Closset, B., 1990, *The treatment of liquid aluminum-silicon alloys*, American Foundrymen's Society, Des Plaines, Illinois, p. 22-28
38. Davies, J.R., 1993, *ASM specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International, Ohio, p. 3-6.
39. Toropova, L.S., Eskin, D.G., Kharakterova, M.L. and Dobatkina, T.V., 1998b, *Advance Aluminum Alloys containing Scandium Structure and Properties containing Scandium Structure and Properties*, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, p. 129-130.
40. Kharakterova, M.L., Eskin, D.G. and Rokhlin, L.L., 1997, "Effect of Scandium and Zirconium on Structure and Age Hardening of the Al-Mg-Si Alloys", *Russia Metallurgy*, Vol. 1, p.104-109

ภาคผนวก

ผลการวัดค่าความแข็งแรงชิ้นงานหลังจากรับภาระที่อุณหภูมิสูงที่เวลาต่างๆกัน

ตารางที่ 1 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 150 °C ที่เวลา 1 ชั่วโมง

A356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	77.8	78.4	79.5	78.566667	80.38
2	83.2	83.6	85.2	84	2.097962
3	79.4	79.7	80.2	79.766667	
4	79.1	79.2	80.3	79.533333	
5	79.4	80.7	80	80.033333	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	97.7	98.4	98.7	98.266667	97.68
2	97.6	98.2	98.6	98.133333	1.238861
3	95.5	95.6	96	95.7	
4	98.5	99.1	99.2	98.933333	
5	97.2	97.3	97.6	97.366667	

0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	94.6	95.3	95.8	95.233333	93.58667
2	92.2	92.6	92.9	92.566667	1.284004
3	92	92.2	92.8	92.333333	
4	92.6	93.2	93.7	93.166667	
5	94.4	94.6	94.9	94.633333	
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	93.5	93.6	94.4	93.833333	91.34667
2	89.1	89.4	90.2	89.566667	1.961519
3	88.6	89.4	89.5	89.166667	
4	91.3	91.8	92.2	91.766667	
5	92.2	92.4	92.6	92.4	

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	93.2	93.4	93.6	93.4
2	92.5	92.8	93.2	92.833333
3	93.3	94.1	95	94.133333
4	93.5	93.9	94.4	93.933333
5	92.9	93	93.3	93.066667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

93.47333

0.553976

ตารางที่ 2 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 150 °C ที่เวลา 2 ชั่วโมง

A356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	78.4	78.6	78.9	78.633333
2	80.7	81.4	81.4	81.166667
3	78.8	79.1	79.8	79.233333
4	78.1	78.5	78.9	78.5
5	79.4	79.5	79.7	79.533333
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	95.4	95.5	95.8	95.566667
2	96.6	97.2	97.8	97.2
3	95.8	96.9	99.6	97.433333
4	93.6	94.4	94.8	94.266667
5	93.1	94.8	95	94.3

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

79.41333

1.068124

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

95.75333

1.522534



0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	92.8	93	93.2	93	92.86
2	93.3	93.4	93.9	93.533333	0.794565
3	93.3	93.4	93.5	93.4	
4	92.5	92.9	93.1	92.833333	
5	91.1	91.5	92	91.533333	
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	88.4	89	89.1	88.833333	89.31333
2	88.2	88.4	89	88.533333	0.861717
3	90.3	90.6	90.7	90.533333	
4	89.5	89.9	90.3	89.9	
5	88.1	88.9	89.3	88.766667	

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	93.2	93.6	93.7	93.5	92.79333
2	92.2	92.4	92.7	92.433333	0.540781
3	92.7	92.9	93.3	92.966667	
4	92.7	92.9	93.3	92.966667	
5	91.8	92	92.5	92.1	

ตารางที่ 3 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 150 °C ที่เวลา 3 ชั่วโมง

A356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	79.9	80.1	80.2	80.066667	78.73333
2	77.9	78.6	79.2	78.566667	0.757555
3	77.6	78.4	78.6	78.2	
4	78.1	78.4	78.6	78.366667	
5	78.1	78.6	78.7	78.466667	
0.2Sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	97.5	97.8	98.3	97.866667	97.88667
2	99.9	100	100.2	100.033333	1.290263
3	96.4	97.2	97.7	97.1	
4	97.5	97.8	97.9	97.733333	
5	96.3	96.8	97	96.7	

0.4Sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	94.5	94.7	94.8	94.666667	93.83333
2	91.8	91.9	92.2	91.966667	1.594086
3	95.2	95.8	96.2	95.733333	
4	92.1	92.3	92.8	92.4	
5	94.1	94.5	94.6	94.4	
0.6Sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	92.7	92.9	93	92.866667	89.95333
2	88.9	89.6	89.8	89.433333	1.650858
3	88.4	89	89.8	89.066667	
4	88.3	88.8	89.5	88.866667	
5	89.4	89.5	89.7	89.533333	

0.2Sc+Zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	88.1	90	90.9	89.666667
2	90.4	90.7	91.1	90.733333
3	90.2	90.4	91	90.533333
4	91	91.2	91.3	91.166667
5	91	91.2	91.4	91.2

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

90.66

0.623788

ตารางที่ 4 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 150 °C ที่เวลา 4 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	80.2	79.8	80.5	80.166667	79.82667 0.403733
2	80.2	79.9	79.7	79.933333	
3	80.1	79.8	80.2	80.033333	
4	79.7	80.2	79.7	79.866667	
5	79.2	78.8	79.4	79.133333	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	99.2	98.4	99.2	98.933333	99.34667 1.621659
2	97.3	97.6	97.6	97.5	
3	101.8	101.7	102.2	101.9	
4	99.6	99.1	100.2	99.633333	
5	98.4	99.1	98.8	98.766667	

0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	94.5	93.9	93.8	94.066667	92.85333
2	93.3	93.5	93.5	93.433333	1.106697
3	92.6	92.3	92.2	92.366667	
4	93.1	93.3	93.2	93.2	
5	91.5	91.2	90.9	91.2	
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	92.9	92.9	92.8	92.866667	91.7
2	90.6	90.7	92.9	91.4	1.959308
3	89.7	88.6	89.6	89.3	
4	90.3	91.5	90	90.6	
5	94.1	94.3	94.6	94.333333	

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	93.5	93.3	93.8	93.533333
2	93.7	93.6	93.3	93.533333
3	94	94.5	94.2	94.233333
4	93	93.5	93.7	93.4
5	93	93.3	93	93.1

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

93.56

0.415933

ตารางที่ 5 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 150 °C ที่เวลา 5 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	80.3	80.6	79.6	80.166667	80.40667
2	83.8	82.7	80.2	82.233333	1.247531
3	77.7	77.8	80.7	78.733333	
4	81.9	79.4	79.7	80.333333	
5	80.7	80	81	80.566667	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	96.9	96.9	96.9	96.9	96.80667
2	97.9	97.3	98.1	97.766667	0.984152
3	95.4	95.8	95.5	95.566667	
4	97.1	93.9	97.2	96.066667	
5	97.9	97.9	97.4	97.733333	

0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	96.1	97	96.1	96.4
2	92.2	92.6	92.4	92.4
3	91.3	90.8	91.5	91.2
4	94	93.2	93.9	93.7
5	90.5	92.7	92.2	91.8
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	88.1	89.8	89	88.966667
2	87.2	87.4	89.9	88.166667
3	89.4	87.7	88.6	88.566667
4	89.8	89.4	89.3	89.5
5	88.5	89	88.3	88.6

93.1

2.063977

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

88.76

0.501332

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	90	91	91.4	90.8	90.95333
2	90.4	90.8	91	90.733333	0.42531
3	91.1	91.2	91.4	91.233333	
4	92	91.4	91.2	91.533333	
5	90.4	90.5	90.5	90.466667	

ตารางที่ 6 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 250 °C ที่เวลา 1 ชั่วโมง

A356	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	79	78.5	78.9	78.8	80.64667 1.763771
2	81.1	82.9	85.8	83.266667	
3	79.3	80.4	79.6	79.766667	
4	79.6	79.8	80.2	79.866667	
5	79.6	79.9	85.1	81.533333	
0.2Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	95.1	98.3	95.8	96.4	96.94 0.658449
2	95.7	96	96.8	96.166667	
3	96.7	99	97.5	97.733333	
4	96.7	98	97.5	97.4	
5	96.9	96.5	97.6	97	

0.4Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	91.3	92.7	92.4	92.133333	92.44667
2	91.6	92.9	92.1	92.2	0.748183
3	94.3	92.4	94.5	93.733333	
4	91.8	91	92.6	91.8	
5	91.5	93	92.6	92.366667	
0.6Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	89.8	89.1	89.2	89.366667	91.19333
2	89.3	90.4	89.5	89.733333	1.546932
3	92.4	90.7	92.8	91.966667	
4	92.4	92.5	93.7	92.866667	
5	92.1	91.4	92.6	92.033333	

0.2Sc+Zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	89.7	91.8	92.1	91.2
2	91.9	92.1	92.3	92.1
3	90	91	92.1	91.033333
4	91.4	90.8	92.1	91.433333
5	93	91.8	92.1	92.3

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

91.61333

0.55857

ตารางที่ 7 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 250 °C ที่เวลา 2 ชั่วโมง

A356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	79.1	79.3	79.4	79.266667
2	80.7	80	81.3	80.666667
3	79.1	79.5	79.6	79.4
4	79.1	79.3	79.4	79.266667
5	79.9	80.1	80.2	80.066667
0.2Sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	96.6	96.9	97.1	96.866667
2	96	97.4	97	96.8
3	95.6	96	96.2	95.933333
4	95.6	95.8	95.9	95.766667
5	96.5	96.6	96.9	96.666667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

79.73333

0.618241

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

96.40667

0.516613



0.4Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	92.7	92.8	93	92.833333	92.62 0.337968
2	91.9	93.3	93.1	92.766667	
3	92.7	91	93.4	92.366667	
4	90.7	92.8	93	92.166667	
5	92.8	93	93.1	92.966667	
0.6Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	87	89.1	89.7	88.6	89.08 0.331327
2	88.7	89	89.1	88.933333	
3	90	89.1	89.3	89.466667	
4	88.9	89.2	89.7	89.266667	
5	88.9	89.1	89.4	89.133333	

0.2Sc+Zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	91.6	91.7	92.2	91.833333	90.52667
2	91.7	92.5	91.9	92.033333	
3	91.6	91.8	92	91.8	1.869254
4	88.1	88.4	88.6	88.366667	
5	88.4	88.5	88.9	88.6	

ตารางที่ 8 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 250 °C ที่เวลา 3 ชั่วโมง

A356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	79.6	79.7	79.8	79.7	79.02
2	79.1	79.3	79.6	79.333333	0.650897
3	78.4	77	78.7	78.033333	
4	78.6	78.7	78.9	78.733333	
5	79.1	79.2	79.6	79.3	
0.2Sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	97.3	97.6	98.1	97.666667	97.80667
2	99	99.5	99.6	99.366667	1.60475
3	95.4	94.5	96.1	95.333333	
4	97.4	97.6	97.7	97.566667	
5	98.8	99.1	99.4	99.1	

0.4Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	93	94.8	95.1	94.3	93.16667
2	91.2	92	91.8	91.666667	2.001805
3	96	96.2	96.3	96.166667	
4	92.4	91.5	92	91.966667	
5	91.5	91.7	92	91.733333	
0.6Sc	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	92.4	92.5	92.7	92.533333	90.06667
2	89.4	89.5	89.7	89.533333	1.383835
3	89	90	89.3	89.433333	
4	88.9	89.4	89.5	89.266667	
5	89.4	89.6	89.7	89.566667	

0.2Sc+Zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	90.2	90.8	90.3	90.433333	89.38667
2	87.9	88.4	88.9	88.4	0.774453
3	88.9	89.2	89.4	89.166667	
4	89.6	89.9	90	89.833333	
5	89	88.9	89.4	89.1	

ตารางที่ 9 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 250 °C ที่เวลา 4 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	80.7	80.3	81	80.666667	80.32667
2	80.7	80.4	80.2	80.433333	0.403733
3	80.6	80.3	80.7	80.533333	
4	80.2	80.7	80.2	80.366667	
5	79.7	79.3	79.9	79.633333	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	99	98.2	99	98.733333	99.14667
2	97.1	97.4	97.4	97.3	1.621659
3	101.6	101.5	102	101.7	
4	99.4	98.9	100	99.433333	
5	98.2	98.9	98.6	98.566667	

0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	94.2	93.6	93.5	93.766667	92.55333
2	93	93.2	93.2	93.133333	1.106697
3	92.3	92	91.9	92.066667	
4	92.8	93	92.9	92.9	
5	91.2	90.9	90.6	90.9	
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	92.6	90	92.5	91.7	92.22667
2	94.3	92	94.6	93.633333	2.02243
3	89.4	88	89.3	88.9	
4	93	93.2	93.7	93.3	
5	93.8	94	93	93.6	

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	92.2	92	92.5	92.233333
2	92.4	92.3	92	92.233333
3	92.7	93.2	92.9	92.933333
4	91.7	92.2	92.4	92.1
5	91.7	92	91.7	91.8

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

92.26

0.415933

ตารางที่ 10 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 250 °C ที่เวลา 5 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	80.8	81.1	81.1	81	81.53333
2	84.3	84.2	86	84.833333	1.937065
3	80.2	80.3	81.2	80.566667	
4	79.4	79.9	80.2	79.833333	
5	81.2	81.6	81.5	81.433333	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	96.7	96.7	96.7	96.7	96.74
2	97.7	97.1	96.9	97.233333	0.833133
3	95.2	95.6	95.3	95.366667	
4	96.9	96.7	97	96.866667	
5	97.7	97.7	97.2	97.533333	

0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	95.8	95.8	95.8	95.8	92.95333
2	91.9	92.3	92.1	92.1	1.866012
3	91	90.8	91.2	91	
4	93.7	93.9	93.6	93.733333	
5	92.1	92.4	91.9	92.133333	
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	87.8	87.7	87.4	87.633333	88.26
2	87.9	88.1	88.4	88.133333	0.528835
3	87.9	88.4	88.4	88.233333	
4	88.5	88.1	88	88.2	
5	89.2	89.1	89	89.1	

0.2sc+zr	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
1	90	89.7	90.1	89.933333
2	89.1	89.5	88.9	89.166667
3	89.8	89.9	90.1	89.933333
4	90	90.1	89.9	90
5	88	89.2	89.2	88.8

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

89.56667

0.548736

ตารางที่ 11 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 350 °C ที่เวลา 1 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	57.3	54.7	56.4	56.133333	55.38667
2	55.3	53.6	56.3	55.066667	0.438178
3	54.5	56.4	55.1	55.333333	
4	55.3	53.6	56.3	55.066667	
5	54.5	56.4	55.1	55.333333	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	71.4	74.2	75	73.533333	73.96
2	75	73.8	75.5	74.766667	1.092754
3	73.9	72.8	71.9	72.866667	
4	73.4	72.2	74	73.2	



5	76.1	75.7	74.5	75.433333
0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	72	70	69.8	70.6
2	71	69.8	72.5	71.1
3	75.9	71.8	73.9	73.866667
4	71	69.8	72.5	71.1
5	70	72	71.9	71.3
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	76.7	72.5	72.5	73.9
2	74.5	71.6	73.4	73.166667
3	71.5	71.5	74.5	72.5
4	71.7	72	72.5	72.066667
5	70.5	71.6	72.3	71.466667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

71.59333

1.296877

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.62

0.947101

0.2sc+zr	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
1	72.5	71.5	74.5	72.833333
2	74.2	77	73.2	74.8
3	75.9	73.5	72.9	74.1
4	72.4	71.7	72.5	72.2
5	72	72.5	73.5	72.666667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

73.32

1.08592

ตารางที่ 12 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 350 °C ที่เวลา 2 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	55.3	53.7	54.4	54.466667	54.77333 0.338625
2	55.8	53.3	56.3	55.133333	
3	53.5	56.4	54.1	54.666667	
4	53.3	54.7	55.4	54.466667	
5	54.8	55.3	55.3	55.133333	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	71.4	74.2	75	73.533333	73.46667 0.370435
2	74	74.8	72.5	73.766667	
3	73.9	72.8	71.9	72.866667	
4	72.3	73.4	74.5	73.4	

5	74	74.8	72.5	73.766667
0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	70.4	70.2	70	70.2
2	71	72.8	72.5	72.1
3	75.9	71.8	73.9	73.866667
4	74.4	74.2	74	74.2
5	70	71.8	71	70.933333
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	74.5	74.7	73	74.066667
2	70.8	70.3	70.1	70.4
3	75.1	74.7	75.4	75.066667
4	74	74.7	75	74.566667
5	70	72.5	71	71.166667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.26

1.758851

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

73.05333

2.119565

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	73.3	71.2	72.8	72.433333	73.41333 1.339486
2	71.1	73.2	71.9	72.066667	
3	74.5	72.1	73.7	73.433333	
4	73.2	72.7	75	73.633333	
5	73.5	77	76	75.5	

ตารางที่ 13 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 350 °C ที่เวลา 3 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	53.6	52.9	54.9	53.8	55.16 1.252198
2	54.5	56.4	57.7	56.2	
3	53.6	52.9	54.9	53.8	
4	54.5	56.4	57.7	56.2	
5	55.8	56.1	55.5	55.8	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	71.2	70.5	69.9	70.533333	72.06667 1.828023
2	70.3	71.8	68.4	70.166667	
3	71.4	73.1	72.9	72.466667	
4	72.5	74.4	70.4	72.433333	

5	74.6	75.7	73.9	74.733333
0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	72.6	72.4	72.1	72.366667
2	70.3	72.4	69.3	70.666667
3	72	75.4	70.5	72.633333
4	73.7	78.4	71.7	74.6
5	75.4	75.4	72.9	74.566667
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	70.9	70.7	71.1	70.9
2	71.1	71.7	73.2	72
3	70.5	72	71.1	71.2
4	73.2	73.5	73.6	73.433333
5	76	75.6	75.9	75.833333

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.96667

1.657475

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.67333

2.020643

0.2sc+zr	วัดครั้งที่1	วัดครั้งที่2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
1	72.4	79	77.5	76.3
2	72.4	72.2	72.4	72.333333
3	73.4	73.4	73.3	73.366667
4	74.4	70.6	73.2	72.733333
5	70.4	69.8	70	70.066667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.96

2.243682

ตารางที่ 14 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 350 °C ที่เวลา 4 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	53.1	55.4	54.1	54.2	55 0.834998
2	55.9	55.2	55.4	55.5	
3	52.7	54	55.7	54.133333	
4	55.5	55.8	54	55.1	
5	52.3	58.6	57.3	56.066667	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	73	71.5	71.8	72.1	72.78889 1.462557
2	76.2	74.1	75.7	75.333333	
3	70.1	72.5	72.3	71.633333	
4	70.2	73.7	73.7667	72.555556	

5	68.75	74.2	74.0167	72.322222	
0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	74.3	75.8	74.7	74.933333	71.80667
2	70.1	70.3	70.8	70.4	1.989193
3	70	70.8	70.9	70.566667	
4	71.7	73.3	73	72.666667	
5	70.5	70.8	70.1	70.466667	
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	72.9	71.1	72.5	72.166667	71.74667
2	69.5	70.9	71.1	70.5	0.736961
3	71	72.4	72.1	71.833333	
4	72.2	72.6	72.4	72.4	
5	71.9	71.6	72	71.833333	

0.2sc+zr	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	72.1	72.6	72.4	72.366667
2	75.3	73.7	74	74.333333
3	70.5	70.8	70.6	70.633333
4	71.7	72.9	73.2	72.6
5	70.9	70	70.8	70.566667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.1

1.566135

ตารางที่ 15 ค่าความแข็ง โลหะผสมอะลูมิเนียม A356 และส่วนผสมทางเคมี ที่ปริมาณสแกนเดียมต่างๆ และเซอร์โคเนียม หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 350 °C ที่เวลา 5 ชั่วโมง

a356	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	52.1	54.4	53.1	53.2	54.93333 1.589025
2	56.9	56.2	56.4	56.5	
3	54.7	55	55.7	55.133333	
4	56.5	59.8	53	56.433333	
5	54.3	53.6	52.3	53.4	
0.2sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย ค่า S.D.
1	70.1	74.5	73.8	72.8	72.72 1.824007
2	75.2	74.1	75.7	75	
3	70.2	70.9	68.6	69.9	
4	70.1	74.5	73.8	72.8	

5	73.2	73.1	73	73.1
0.4sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	70.3	73.8	72.7	72.266667
2	72.1	72.3	72.8	72.4
3	70.9	70.8	72.9	71.5333333
4	77.7	70.3	70	72.666667
5	73.5	73.8	73.1	73.466667
0.6sc	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	70.3	71.1	70.7	70.7
2	68.9	70.3	68.1	69.1
3	70	70.7	70.9	70.5333333
4	71.9	71.2	71.7	71.6
5	73.2	73.5	73.4	73.366667

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.46667

0.699206

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

71.06

1.570103

0.2sc+zc	วัดครั้งที่ ที่1	วัดครั้งที่ ที่2	วัดครั้งที่ ที่3	ค่าเฉลี่ย
1	73.9	69.9	74.3	72.7
2	71.8	73.5	73.1	72.8
3	73	70.4	70.4	71.266667
4	73.7	71	70.9	71.866667
5	73.3	70.7	70.8	71.6

ค่าเฉลี่ย
ค่า S.D.

72.04667

0.677249



