

การศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ Extrusion Die Design Using Finite Element Method

ประเสริฐ ปรารชญ์¹, สุรังสี เดชเจริญ^{1*} และ จุลาลักษณ์ คำไม้¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-2913-2500 โทรสาร 0-2913-2618 *อีเมลล์ surang@kmitnb.ac.th

Prasert Prachprayoon¹, Surangsee Dechjarern^{1*}, and Julaluk Carmai¹

¹Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand

Tel: 0-2913-2500, Fax: 0-2913-2618, *E-mail: surang@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

ในการอัดรีดอลูมิเนียมนั้นความเร็วในการไหลตัวของอลูมิเนียมผ่านช่องแม่พิมพ์ตามรูปแบบที่ออกแบบไว้มีผลต่อหน้าตัดของชิ้นงานสำเร็จเป็นอย่างมาก การควบคุมความเร็วของการไหลตัวของอลูมิเนียมก็คือการสร้างพื้นผิวให้เกิดแรงเสียดทานที่บริเวณหน้าตัดของแม่พิมพ์อัดรีดให้มีความแตกต่างกันออกไป (Bearing profile) สภาวะของการปฏิบัติงานจริงนั้น ผู้ผลิตจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดที่มีประสบการณ์สูงเพื่อออกแบบแม่พิมพ์และแก้ปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทดลองอัดรีด (Trial and error) นั้นหมายถึงต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้นในทุกๆ ครั้งที่ได้มีการทดลองอัดรีดจากแม่พิมพ์ที่ออกแบบแต่ละครั้งจนกระทั่งได้แม่พิมพ์ชุดที่ดีที่สุดงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์เข้ามาจำลองกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียม โดยวัสดุที่ใช้ในการจำลองการอัดรีดคืออลูมิเนียมอัลลอย (AA6063) มีเส้นผ่าศูนย์กลางของบิลเล็ต 127 mm และยาว 482.6 mm คุณสมบัติวัสดุเป็นแบบ Isothermal พฤติกรรมเป็นแบบ Elasto-viscoplastic with strain hardening โดยมีการพิจารณาถึงความร้อนที่เกิดขึ้นและมีการเสียดสีระหว่างกันตามกฎของ Coulomb's อลูมิเนียมอบบิลเล็ตก่อนรีด 450 °C อลูมิเนียมแม่พิมพ์ 500 °C ความเร็วแรม 5 mm/sec อัตราส่วนการอัดรีดคือ 60.562 ชิ้นงานเป็นแบบหน้าตัดเปิด (Open profile) ผลจากการศึกษาได้ถูกเปรียบเทียบกับกรณีอัดรีดชิ้นงานจริง ผลการจำลองสอดคล้องกับการอัดรีดที่เกิดขึ้นจริงขณะปฏิบัติงาน โดยเมื่อใช้ความยาวแรมเริ่มต้นพบว่าความเร็วที่ปากแม่พิมพ์ (Exit Profile) ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้หน้าตัดของชิ้นงานบิดเบี้ยวอย่างชัดเจน โดยใช้เวลาในการจำลอง 16.8 ชั่วโมง จากนั้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความยาวแรมในส่วนต่างๆ ต่อความเร็วที่ปากแม่พิมพ์ จากการศึกษาสามารถหาค่าของความยาวแรมโดยรอบหน้าตัดที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้มีความเร็วที่ปากแม่พิมพ์สม่ำเสมอและ

การบิดเบี้ยวของโปรไฟล์มีเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณชิ้นงานสม่ำเสมอ ผลที่ได้รับการจากโปรแกรมสอดคล้องกับการอัดรีดที่แท้จริง

Abstract

Aluminum extrusion processes, the velocity of aluminum flow through the pocket and passing die has influencing to achieve the complete extruded profile. To controlling the aluminum flow, one useful method is design the bearing length that is different dimension depending on the product profile. For the actual operation, extruders has high experiences designer to design and carry out the extrusion dies, fixed the die problems after tryouts. Every trials and errors mean money has invested into products that will be higher. This research brings the finite element program to formulate the problems into model and simulate the extrusion process. The billet has 127 mm diameter and 482.6 mm in length and the material property is isothermal, which has elasto-viscoplastic with strain hardening behavior. The temperatures in extrusion process come from frictions between the billet, container, and pocket are taken through the Coulomb's rule. The pre-heat temperature is 450 °C, die temperature is 500 °C, ram speed is 5 mm/sec, and extrusion ratio is 60.562. This product type is open profile. Result from this research has compared with actual product found that conform to actual process. First bearing length result to the non-uniform velocity at exit, and the result after improve bearing length around the profile, velocity become uniform, few extruded

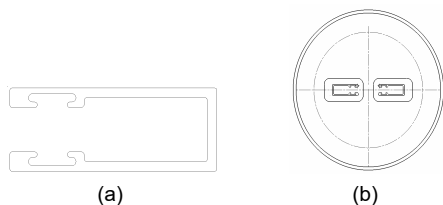
profile distortion within acceptable, and smooth gradient of temperature around the profile. The simulated results from finite element conform to actual extrusion process.

1. บทนำ

ในการออกแบบแม่พิมพ์การอัดรีดนั้น สิ่งที่ต้องการให้ได้รับคือผลิตภัณฑ์หรือหน้าตัดของชิ้นงาน (Profile) ที่ผ่านกระบวนการอัดรีดแล้วมีรูปร่างที่ถูกต้องตามความต้องการ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยการอัดรีดนั้นมีหลายอย่าง อุณหภูมิต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการอัดรีด ตั้งแต่อุณหภูมิการอบบิลเล็ตก่อนรีด (Billet pre-heat temperature) อุณหภูมิขณะรีด และอุณหภูมิที่ปากแม่พิมพ์ (Exit temperature) เป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งมีอิทธิพลต่อผลกระบวนการอัดรีด นอกจากนี้ขนาดและรูปทรงของพ็อกเก็ตซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการไหลตัวของโลหะระหว่างกระบวนการอัดรีดเป็นอีกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียม เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้สำหรับปรับความสมดุลของการไหลตัวของอลูมิเนียม สำหรับการอัดรีดอลูมิเนียมอัลลอยชนิด Direct extrusion นั้น จุดสำคัญที่ต้องพิจารณาการควบคุมอัตราการไหลของอลูมิเนียมขณะเคลื่อนที่ผ่านแม่พิมพ์เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน หากอัตราการไหลของอลูมิเนียมไม่สม่ำเสมอจะส่งผลต่อหน้าตัดของชิ้นงานที่อาจจะเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมที่มีหน้าตัดแบบเปิด (Solid profile) โดยนำโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์เข้ามาช่วยในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้รับแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมอัลลอยที่สามารถอัดรีดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. โมเดลชิ้นงานและเงื่อนไขขอบเขต

การอัดรีดอลูมิเนียมอัลลอย AA6063 ของชิ้นงานแบบหน้าตัดเปิดตามรูปที่ 1 (a) ซึ่งได้ออกแบบแม่พิมพ์ให้มีพ็อกเก็ตมีลักษณะเป็น 2 gravity ตามรูปที่ 1 (b) เพื่อให้เกิดสมดุลของการอัดรีดด้านซ้ายมือและด้านขวามือ เนื่องจากแรงความเร็วของการไหลตัวของอลูมิเนียมขณะทำการอัดรีดจะมีความเร็วการไหลของโลหะที่บริเวณกึ่งกลางสูงกว่าความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณรอบนอก

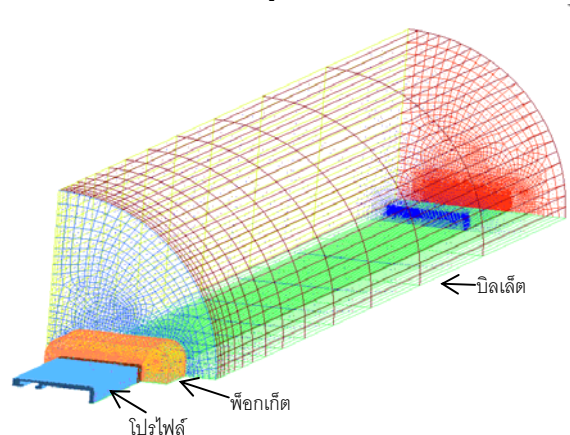


รูปที่ 1 (a) หน้าตัดชิ้นงาน และ (b) ลักษณะของแม่พิมพ์อัดรีด

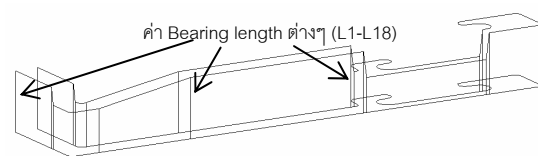
ในการสร้างโมเดลบนโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ Altair® HyperXtrude ได้ใช้หลักสมมาตร โดยทำการสร้างโมเดลชิ้นงานหนึ่งในสี่ของชิ้นงานจริง พร้อมทั้งได้กำหนดบริเวณสำหรับการตรวจสอบความเร็วไว้จำนวน 6 จุดที่ทำหน้าที่ต่างๆ กันบนหน้าตัดชิ้นงาน

จำนวนอีลิเมนต์ทั้งหมดที่สร้างขึ้นสำหรับการจำลองการอัดรีดชิ้นงานในครั้งนี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 104158 อีลิเมนต์ เป็น Mesh แบบ

hexahedral (hex8) ดังแสดงในรูปที่ 2 พร้อมทั้งกำหนดค่า Bearing length ซึ่งเป็นค่าที่ออกแบบไว้ในเบื้องต้น โดยรอบโปรไฟล์ของชิ้นงานซึ่งแยกเป็น 18 ส่วนแต่ละส่วน (L1-L18) จะมีระยะที่แตกต่างกันออกไปตามตารางที่ 1 เส้น Bearing length ที่เกิดขึ้นเกิดจากการลากเส้นจากจุดยอดของระยะ L1-L18 แต่ละส่วนต่อเนื่องกันไปโดยรอบหน้าตัดของชิ้นงาน ซึ่งจะทำได้พื้นที่ของ Bearing profile ที่มีพื้นที่ในแต่ละส่วนแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 โมเดลชิ้นงาน



รูปที่ 3 ลักษณะ Bearing profile เริ่มต้น

เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการจำลองการอัดรีด

- ขนาดความโตของบิลเล็ต 127 mm
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Container 131 mm
- อุณหภูมิ pre-heat บิลเล็ต 450°C
- อุณหภูมิ pre-heat แม่พิมพ์ 500°C
- ความเร็วแรม 5 mm/sec
- ความเร็วการอัดรีด 302.809 mm/sec
- อัตราส่วนการอัดรีด 60.56

ตารางที่ 1 ค่า Bearing length เริ่มต้น (หน่วย: mm)

L1 = 3.0	L7 = 2.0	L13 = 3.5
L2 = 3.0	L8 = 2.0	L14 = 3.5
L3 = 2.5	L9 = 3.5	L15 = 2.5
L4 = 2.5	L10 = 3.5	L16 = 2.5
L5 = 3.5	L11 = 2.0	L17 = 3.0
L6 = 3.5	L12 = 2.0	L18 = 3.0

3. วัสดุชิ้นงาน

วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัยคืออลูมิเนียมอัลลอย (AA6063) มีค่า Constitutive Model เป็นแบบ Sine Hyperbolic Inverse โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Density = 2700 kg/m³

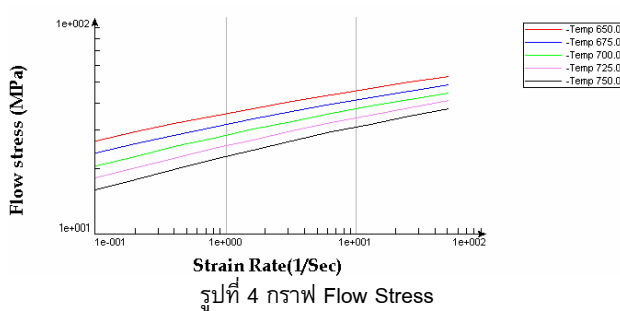
Specific Heat = 900 J/kg-K

Conductivity = 198 W/m-K

Stress Exponent = 5.385

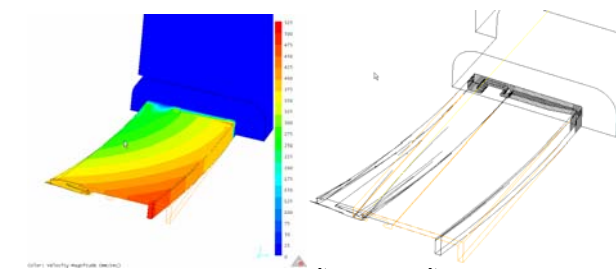
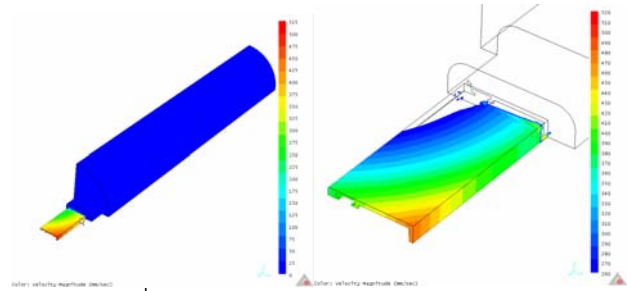
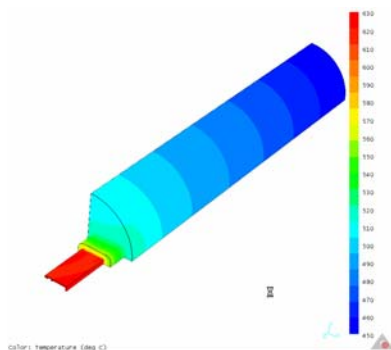
Strain rate offset = 0.0001 1/s

และมีลักษณะกราฟของ Flow Stress ดังรูปที่ 4 โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับ Bearing profile เป็นไปตามกฎของ Coulomb มีค่าเท่ากับ 0.4



4. ผลการจำลองการอัดรีด

จากการออกแบบเบื้องต้นพบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานระหว่างกระบวนการอัดรีดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 5 แต่ความเร็วในการไหลตัวของอลูมิเนียมอัลลอยที่เกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งความเร็วการไหลตัวของอลูมิเนียมอัลลอยตามการออกแบบเริ่มต้นนี้ความเร็วจะสูงมากที่ขอบชิ้นงานด้านนอกและจะช้าที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 6 ส่งผลให้โปรไฟล์ของชิ้นงานบิดเบี้ยวไปดังแสดงในรูปที่ 7 ในการจำลองครั้งนี้ใช้เวลา (CPU Time) ในการคำนวณผลลัพธ์ 16.8 ชั่วโมง โดยผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับผลการอัดรีดจริง



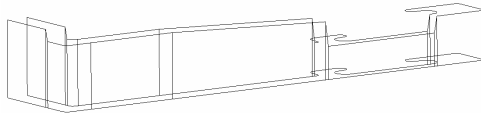
ตารางที่ 2 ความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งตรวจสอบที่กำหนด

	ความเร็ว (mm/sec)	อุณหภูมิ (°C)
P1	373.623	621.749
P2	366.743	621.749
P3	275.583	621.038
P4	274.557	620.872
P5	231.011	620.948
P6	233.305	612.013

ผลจากการจำลองทำให้เราทราบว่า การออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมอัลลอยในครั้งนี้มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น และเนื่องจากผลจากการจำลองสอดคล้องกับผลที่ได้รับจากการอัดรีดจริง ซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของการจำลองในครั้งนี้

5. การปรับค่า Bearing length เพื่อแก้ปัญหาการบิดเบี้ยว

จากการศึกษาทำให้ทราบว่า Bearing length เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมอัลลอย ซึ่งจุดในการตรวจสอบตามตารางที่ 2 แต่ละจุดจะมี Bearing length เป็นตัวควบคุมแรงเสียดทาน ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้วิธีการปรับค่า Bearing length เพื่อให้ได้รับค่าความเร็วที่ตำแหน่งตรวจสอบทั้ง 6 จุดรอบโปรไฟล์ของชิ้นงานเมื่อพ้นจากแม่พิมพ์มีความเร็วสม่ำเสมอ ณ ตำแหน่งตรวจสอบ (Monitoring point) โดยค่า Bearing length ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเริ่มต้นของการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดมีรายละเอียดดังตารางที่ 3 และมีรูปร่างของ Bearing profile ดังรูปที่ 8

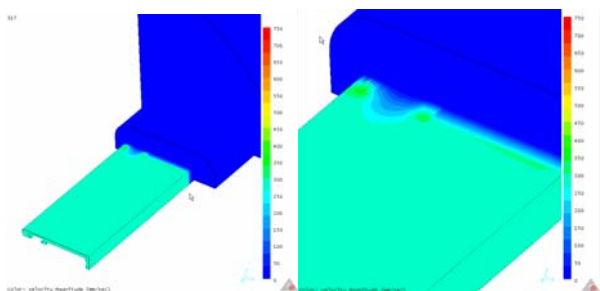


รูปที่ 8 ลักษณะ Bearing profile ที่ปรับปรุงแล้ว

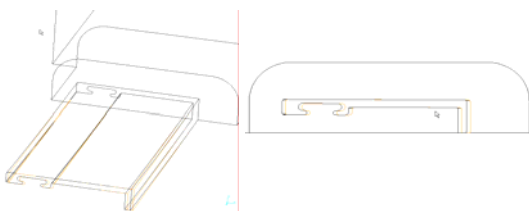
ตารางที่ 3 ค่า Bearing length ที่ปรับแก้ไข

L1 = 3.0 → 4.7	L7 = 2.0	L13 = 3.5
L2 = 3.0 → 4.7	L8 = 2.0	L14 = 3.5 → 4.0
L3 = 2.5 → 4.0	L9 = 3.5 → 3.0	L15 = 2.5 → 4.0
L4 = 2.5 → 4.0	L10 = 3.5 → 3.0	L16 = 2.5 → 4.0
L5 = 3.5 → 4.0	L11 = 2.0	L17 = 3.0 → 4.7
L6 = 3.5	L12 = 2.0	L18 = 3.0 → 4.7

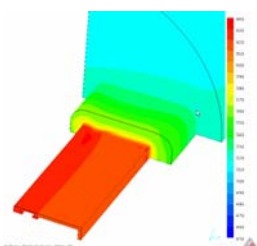
ผลการจำลองการอัดรีด พบว่าเมื่อทำการปรับค่า Bearing length ที่ส่วนต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3 จะทำให้ได้ความเร็วที่ปากแม่พิมพ์ ณ จุดตรวจสอบที่กำหนดไว้ทั้ง 6 จุดมีความเร็วที่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 9 ซึ่งส่งผลให้โปรไฟล์ชิ้นงานที่ผ่านการกระบวนการอัดรีดมีความบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อยอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 10 และการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมมีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 11 ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นโดยรอบพื้นผิวโปรไฟล์เพียง 2.32 °C โดยใช้เวลา (CPU Time) ในการคำนวณผลลัพธ์ลดลงเหลือ 7.54 ชั่วโมง



รูปที่ 9 ความเร็วการไหลตัวของอลูมิเนียมภายหลังปรับปรุง



รูปที่ 10 โปรไฟล์ของชิ้นงานภายหลังการปรับปรุง



รูปที่ 11 อุณหภูมิการอัดรีดภายหลังการปรับปรุง

6. สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าผลที่ได้รับจากการจำลองกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมด้วยโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์แล้ว ผลที่ได้รับมีความสอดคล้องกับการอัดรีดจริง และเมื่อได้ปรับปรุงการออกแบบแล้วพบว่าความเร็วที่บริเวณปากแม่พิมพ์นั้นสม่ำเสมอ ส่งผลให้โปรไฟล์ของชิ้นงานที่ผ่านการบวนการอัดรีดเกิดความบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อยซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณบริษัทเอ็มทีแอลเมททัล จำกัด และทีมงานที่เอื้อเฟื้อข้อมูลผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในงานวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ให้การสนับสนุนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Q. Li, C.J. Smith, C. Harris, and M. R. Jolly, 2003. Finite element investigations upon the influence of pocket die designs on metal flow in aluminum extrusion Part I Effect of pocket angle and volume on metal flow. J. Mater. Process. Technol. Vol. 135, pp 189-196.
- [2] Q. Li, C.J. Smith, C. Harris, and M. R. Jolly, 2003. Finite element investigations upon the influence of pocket die designs on metal flow in aluminum extrusion Part II Effect of pocket geometry configuration on metal flow. J. Mater. Process. Technol. Vol. 135, pp 197-203.
- [3] N. Miles, G. Evans, A. Middleditch, 1997. Bearing lengths for extrusion dies: rationale, current practice and requirements for automation. J. Mater. Process. Technol. Vol.72, pp162-176.
- [4] Patrick Ulysse, 2002. Extrusion die design for flow balance using FE and optimization methods. Int. J. Mechanical sciences. Vol. 44, pp 319-341.
- [5] Nick Miles, Guy Evans, and Alan Middleditch. Bearing lengths for extrusion dies: rationale, current practice and requirements for automation. J. Mater. Process. Technol. Vol.72, pp 162-176.
- [6] Altair © Engineering. HyperWorks © 8.0 User's manual