วิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกนสำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

AN APPLICATION OF COMPUTER AIDED DESIGE, MANUFACTURING AND FIVE AXIS MACHINE FOR SHOES RUBBER COMPRESSION MOULD MANUFACTURING

นายนพพร บึกแว่น

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม)

ปริญญา

เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกน สำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

An Application of Computer Aided Design, Manufacturing and Five Axis Machine for Shoes Rubber Compression Mould Manufacturing

นามผู้วิจัย นายนพพร บึกแว่น

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์ชนะ รักษ์ศิริ, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ศุภสิทธ์ รอดขวัญ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(รองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกน สำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

An Application of Computer Aided Design, Manufacturing and Five Axis Machine for Shoes Rubber Compression Mould Manufacturing

โดย

นายนพพร บึกแว่น

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม)
พ.ศ. 2550

นพพร บึกแว่น 2550: การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกนสำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม) สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ชนะ รักษ์ศิริ, D.Eng. 109 หน้า

ปัจจุบันการขึ้นรูปพื้นผิวที่มีความซับซ้อนของแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดห้าแกนนับได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิต เนื่องด้วยในบางกรณีไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเครื่องกัดสามแกนปกติ หรือถ้าสามารถทำได้ก็จำเป็นต้องมีการขึ้นรูปหลายขั้นตอน ซึ่งทำให้ผู้ผลิตไม่สามารถทำการผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งทางด้านคุณภาพของชิ้นงานและระยะเวลาการส่งมอบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกนสำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้าที่มีพื้นผิวที่ซับซ้อน โดยเริ่มจากการออกแบบรูปทรงของพื้นยางรองเท้าเพื่อนำมาทำการสร้างแบบแม่พิมพ์ จากนั้นได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตคำนวณเส้นทางเดินของมีดตัด เพื่อสร้างโปรแกรมในการขึ้นรูปชิ้นงานบนเครื่องกัดห้าแกน ทั้งนี้ได้มีการศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานใน 2 หัวข้อหลักด้วยกัน คือ การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้ เพื่อใช้สำหรับงานหล่อตัวแม่พิมพ์ยางพื้นรองเท้าโดยใช้เครื่องกัดห้าแกนและการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน จากผลการทดลองพบว่าสามารถลดเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานของแบบไม้ เพื่อใช้สำหรับงานหล่อตัวแม่พิมพ์ยางพื้นรองเท้าได้ 46.94 % โดยเปรียบเทียบกับการผลิตการขึ้นรูปโดยเครื่องกัดสามแกน จากผลการทดลองการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการหล่อโลหะ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีส่วนที่เป็นพื้นผิวที่ซับซ้อนหลายตำแหน่งทำให้โรงงานหรือผู้ประกอบการไม่สามารถทำการผลิตได้ด้วยวิธีปกติคือ การขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดสามแกนจบในขั้นตอนเดียว ซึ่งกระบวนการผลิตของทางโรงงานต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบไม้ จากนั้นนำชิ้นงานแบบไม้ที่ได้ไปทำการหล่อโลหะเพื่อให้ได้ชิ้นงานแม่พิมพ์ยาง จึงสรุปได้ว่าการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกนสามารถลดเวลาได้ 56.8 % โดยเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเดิมของทางโรงงาน

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nopporn Bukwan 2007: An Application of Computer Aided Design, Manufacturing and Five Axis Machine for Shoes Rubber Compression Mould Manufacturing. Master of Engineering (Industrial Production Technology), Major Field: Industrial Production Technology, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Mr. Chana Raksiri, D.Eng. 109 pages.

Currently, CNC five-axis machine is widely used to manufacture the complicated mould in stead of three-axis machine, which can not perform in single process; the capacity, quality and cost of process are the limitations of three-axis machine. This research is an application of CAD/CAM for a complicated mould manufacturing of shoes rubber to provide good surface roughness, high quality and high precision. The geometric parts of rubber shoes were created for mould and die design, which tool path can be obtained by CAM software and cutting code was then sent to five axis machine.

This research is approached into two studies, which are making a shoe rubber wood model for rubber casting mould and direct making of shoe rubber aluminum mould. The results show that the machining time of the shoe rubber wood model for rubber casting mould is reduced 46.94% by comparing with three-axis machine. In order to make the shoe rubber aluminum mould directly without casting process, Due to it undercut area in the mould that can make difficultly processor for three-axis machine in one step then most of manufacture use wooden for casting in order to get rubber mould. For the above reasons can show that the Five-axis machining able to reduced 56.8 % of processing time by compare traditional mould manufacturing process.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชนะ รักษ์ศิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์การสืบค้นข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ เป็นที่ปรึกษาแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยยากร จันทร์สุวรรณ ผู้อำนวยการสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วิธาน จริยประเสริฐสิน สถาบันไทย-เยอรมันที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณบูรณางค์ ศุขสมิติ และทีมงานบริษัทเดลแคมประเทศไทยจำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำในการใช้โปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบและการผลิต

ขอขอบพระคุณ คุณวีระชัย เทพหัสดิน ณ อยุธยา บริษัทซีเคเอสโมลด์ คำแนะนำและข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีแม่พิมพ์ยางรวมถึงข้อมูลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยเครื่องกัดสามแกน

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมาและคอยกระตุ้นให้มีกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นพพร บึกแว่น

เมษายน 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (2)

สารบัญภาพ (3)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์การทำวิจัย 2

ขอบเขตการทำวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

การตรวจเอกสาร 3

อุปกรณ์และวิธีการ 27

อุปกรณ์ 27

วิธีการ 29

ผลและวิจารณ์ 38

ผล 38

วิจารณ์ 105

สรุปและข้อเสนอแนะ 107

สรุป 107

ข้อเสนอแนะ 107

เอกสารและสิ่งอ้างอิง 108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงโปรแกรมไฟล์ G-Code	70
2	แสดงการกำหนดชิ้นงานดิบ (Raw Material)	72
3	แสดงอุปกรณ์การจับยึดชิ้นงาน (Work Holding)	73
4	แสดงรายการเครื่องมือสำหรับชิ้นงานแบบไม้	74
5	แสดงการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้	75
6	ผลการเปรียบเทียบการขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องกัดสามแกน และเครื่องกัดห้าแกน	78
7	แสดงโปรแกรมไฟล์ G-Code	87
8	แสดงการกำหนดชิ้นงานดิบ (Raw Material)	88
9	แสดงอุปกรณ์การจับยึดชิ้นงาน (Work Holding)	89
10	แสดงรายการเครื่องมือสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์ โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	90
11	แสดงการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับขึ้นรูป พื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	91
12	ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าโดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัด ห้าแกน	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ยางแบบอัดขึ้นรูป	4
2	ตัวอย่างแม่พิมพ์ยางแบบอัดขึ้นรูป (Station Industries)	4
3	ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ยางแบบอัดส่ง	5
4	แสดงการขึ้นรูปยางด้วยวิธีการอัดส่ง (Transfer Moulding)	6
5	ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ยางแบบฉีดขึ้นรูปแนวตั้ง	7
6	เครื่องฉีดยางที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าแบบวัสดุ 2 ชนิด	10
7	ตัวอย่างของชิ้นงานที่วัสดุ 2 ชนิด	11
8	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์รองเท้า	12
9	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าวัสดุ 2 ชนิด โดยฉีดแบบหุ้ม	12
10	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าวัสดุ 2 ชนิด โดยฉีดแบบหุ้	13
11	แม่พิมพ์พื้นรองเท้าส่วน Out-Zone	13
12	แม่พิมพ์พื้นรองเท้าส่วน Mid-Zone	14
13	หุ่นเท้า (Foot Form)	14
14	ขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ส่วนพื้นรองเท้าทั้งในส่วน Out-Zone และ Mid-Zone	15
15	แบบงานหล่อ (Pattern) หรือ Wood Model	15
16	การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning)	17
17	การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Incremental Positioning)	17
18	จุดอ้างอิงของเครื่อง (Machine Reference Point : M)	18
19	จุดอ้างอิงของโปรแกรม (Program Reference Point : P)	19
20	จุดอ้างอิงของชิ้นงาน (Work Reference Point)	20
21	เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) เข้าหาจุด	22
22	เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) ออกจากจุด	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) ออกจากเส้นตรง	23
24	เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) เข้าหาเส้นตรง	23
25	การคำนวณทางเดินของมีดตัดเฉือนที่พื้นผิว	24
26	การคำนวณโดยให้แกนของมีดตัดเฉือนตั้งฉาก Part Surface	25
27	การคำนวณโดยให้แกนของมีดตัดเฉือนทำมุมสัมพัทธ์กับ Part Surface	26
28	การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือนโดยวิธี (Swarf Drive)	26
29	เครื่องกัดห้าแกน MIKRON UCP 800 Duro	28
30	เครื่องกัดห้าแกน CHERMLE UWF 902 H	28
31	แผนภาพขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน	30
32	แผนภาพขั้นตอนการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า	31
33	แผนภาพขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า	32
34	แผนภาพขั้นตอนการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้	33
35	แผนภาพขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด	34
36	แผนภาพขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด	35
37	แผนภาพขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน	36
38	แผนภาพขั้นตอนการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์ โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน	37
39	แบบชิ้นงาน 2 มิติของชิ้นงานรองเท้า	39
40	สร้างเส้นของชิ้นงานรองเท้า	39
41	สร้างพื้นผิวของชิ้นงานรองเท้า	40
42	สร้างพื้นผิวของชิ้นงานรองเท้า	40
43	รวมและตัดพื้นผิวต่างๆ ของรองเท้า	41
44	ผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า	41
45	รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า	42
46	ตรวจสอบและวิเคราะห์ชิ้นงาน (Analysis CAD Model)	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	กำหนดค่าหดตัวของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า (Shrinkage)	43
48	จัดวางตำแหน่งของชิ้นงาน (Mold Layout)	44
49	กำหนดชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยมสำหรับแบ่งชิ้นส่วนแม่พิมพ์	45
50	กำหนดเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Line)	45
51	สร้างพื้นผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Surfaces)	46
52	แยกส่วนคอร์และคาวิตี้ของแม่พิมพ์ (Split Insert Part)	47
53	ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้านคาวิตี้	47
54	ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้านคอร์	48
55	ชิ้นส่วนประกอบคาวิตี้ของแม่พิมพ์	48
56	กำหนดแม่พิมพ์มาตรฐาน (Mould Base)	49
57	ชิ้นส่วนตัวนำเคลื่อนที่และตัวนำด้านอยู่กับที่	50
58	ชุดอุปกรณ์ในการเปิดปิดแม่พิมพ์	50
59	ผลการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า	51
60	เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ (Drawing Mould)	51
61	รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า	52
62	กำหนดเส้นแบ่งส่วนของชิ้นงาน	52
63	แบ่งพื้นผิวของชิ้นงานออกเป็นสองส่วน	53
64	เชื่อมผิวของชิ้นงานส่วนที่เป็นช่องว่าง	53
65	ยืดผิวของชิ้นงานด้านล่าง	54
66	เปลี่ยนแบบจำลองของพื้นผิวเป็นแบบจำลองทรงตัน	54
67	รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้	55
68	ปรับมุมมองดูรูปแบบของด้านต่างๆ	55
69	กำหนดขนาดวัตถุดิบ (Material Block Definition)	56
70	กำหนดมีดตัดหรือทูล (Cutting Tools)	56
71	การเขียนเส้นทางเดินของมีดตัดโดยลดขนาดบริเวณด้านข้างของรองเท้า	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
72	การเขียนเส้นทางเดินของมีดตัดบริเวณด้านบนของรองเท้า	58
73	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของรองเท้า	58
74	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของรองเท้า	59
75	การเขียนเส้นทางเดินของมีดเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า	59
76	การเขียนเส้นทางเดินของมีดเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า	60
77	การเขียนเส้นทางเดินของมีดเก็บผิวละเอียดของชิ้นงาน บริเวณขอบของชิ้นงาน	60
78	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณในร่องของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า	61
79	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	61
80	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	62
81	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	62
82	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	63
83	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	63
84	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบบนด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	64
85	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบล่างด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	64
86	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบล่างด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	65
87	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบบนด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	65
88	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า	66
89	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	67
90	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	67
91	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	68
92	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	68
93	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	69
94	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	69
95	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
96	พื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	79
97	ปรับดูมุมมองโดยใช้ View Toolbar	80
98	กำหนดขนาดวัตถุดิบ (Material Block Definition)	80
99	กำหนดมีดกัดหรือทูล (Cutting Tools Definition)	81
100	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของชิ้นงานรองเท้า	82
101	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของชิ้นงานรองเท้า	82
102	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของชิ้นงานรองเท้า	83
103	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบของแม่พิมพ์อะลูมิเนียม	83
104	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบ 2 ด้านของแม่พิมพ์อะลูมิเนียม	84
105	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณพื้นของแม่พิมพ์อลูมิเนียม	84
106	การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านในร่องของแม่พิมพ์อลูมิเนียม	85
107	การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation	86
108	การเตรียมวัตถุดิบเพื่อจะนำมากัดแบบไม้	93
109	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	95
110	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	95
111	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	96
112	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	96
113	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	97
114	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	97
115	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	98
116	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	98
117	การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน	99
118	ผลการออกแบบชิ้นงานแบบไม้	99
119	ผลการออกแบบชิ้นงานแบบไม้	100
120	ผลการออกแบบชิ้นงานแบบไม้	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		**หน้า**
121	ผลการออกแบบชิ้นงานแบบไม้	101
122	การเตรียมวัตถุดิบเพื่อขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	101
123	การขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	102
124	การขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	103
125	ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	104
126	ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม	104

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกน สำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

An Application of Computer Aided Design, Manufacturing and Five Axis Machine for Shoes Rubber Compression Mould Manufacturing

คำนำ

ปัจจุบันความต้องการในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีพื้นผิวที่ซับซ้อนและให้ได้ค่าผิวของชิ้นงานที่มีความละเอียดให้ได้ขนาดของชิ้นงานที่แม่นยำ อาทิเช่น ใบพัดที่ใช้ในเครื่องยนต์ไอพ่น, พื้นผิวของชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์, อากาศยาน, พื้นผิวของชิ้นส่วนรองเท้ารวมถึงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ยาง Shoes Rubber Mould Process ซึ่งพื้นผิวเหล่านี้ บางครั้งไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเครื่องกัดสามแกนปกติ หรือถ้าสามารถทำได้ก็ต้องมีการขึ้นรูปหลายขั้นตอน ซึ่งทำให้ผู้ผลิตไม่สามารถทำการผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งทางด้านคุณภาพของชิ้นงานและระยะเวลาการส่งมอบ

การผลิตแม่พิมพ์ยางที่มีพื้นผิวที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่พิมพ์ที่มีส่วนของ Undercut ในแม่พิมพ์ ในปัจจุบันการผลิตแม่พิมพ์ยางยังมีกระบวนการผลิตแม่พิมพ์หลายขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานหลายครั้ง ทำให้ระยะเวลาในการผลิตนานชิ้นงานไม่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งส่งผลกระทบในด้านต้นทุนของแม่พิมพ์รวมถึงระยะเวลาการส่งมอบ

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีจุดมุ่งหมายอย่างยิ่งในการพัฒนาและนำเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย เช่น การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing, CAM) รวมทั้งการใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมอัตโนมัติช่วยในงานวิศวกรรม (Computer Numerical Control, CNC) เข้าไปช่วยในการผลิตแม่พิมพ์ ซึ่งเครื่องกัดห้าแกนจะมีลักษณะเหมือนเครื่องกัดสามแกน แต่จะมีการเพิ่มจำนวนแกนที่ทำการหมุนเข้าอีก 2 แกน ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์รวมถึงระยะเวลาการส่งมอบ เพื่อให้ทันต่อความต้องการของตลาดซึ่งในปัจจุบันมีการแข่งขันค่อนข้างสูง

ผลการวิจัยครั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางการพิจารณาสำหรับผู้ประกอบการ รวมถึงการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ยางในการผลิตชิ้นงานของแบบไม้และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์รวมถึงระยะเวลาการส่งมอบ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องกัดห้าแกนในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้และพื้นรองเท้าโดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมสำหรับแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

ขอบเขตการทำวิจัย

1. ทำการออกแบบชิ้นงานและแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

2. ทำการคำนวณหาเส้นทางเดินของมีดตัดของชิ้นงานแบบไม้และพื้นรองเท้าโดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

3. ทำการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้ โดยใช้เครื่องกัดห้าแกนรุ่น MIKRON UCP 800 Duro และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกนรุ่น CHERMLE UWF 902 F

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการลดเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ชิ้นงานแบบไม้และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม ให้กับผู้ประกอบการรวมถึงอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์ยาง

2. เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางการพิจารณาสำหรับผู้ประกอบการรวมถึงอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์ยางในการผลิตชิ้นงานแบบไม้และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

การตรวจเอกสาร

เนื่องจากวิทยานิพนธ์เรื่องการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและเครื่องกัดห้าแกนสำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์อัดยางรองเท้านี้เกี่ยวข้องกับองค์ความรู้หลายด้านด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งแยกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

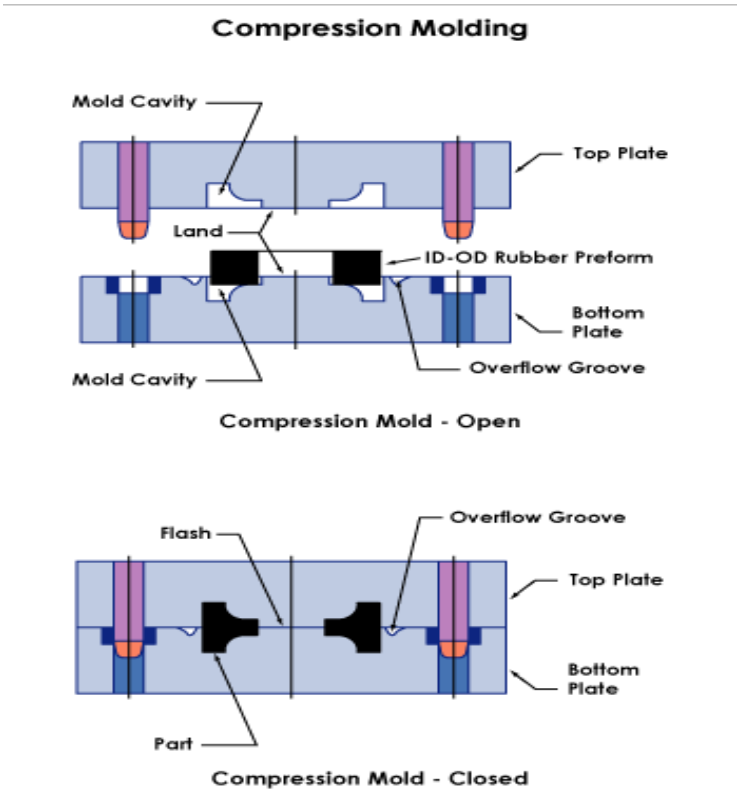
1. การตรวจเอกสารด้านการออกแบบแม่พิมพ์
2. การตรวจเอกสารด้านการผลิตแม่พิมพ์
3. กรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา
4. ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การตรวจเอกสารด้านการออกแบบแม่พิมพ์

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง (Moulding) คือ การขึ้นรูปยางให้เป็นชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน โดยเปลี่ยนยางเทอร์โมเซ็ตจากสถานะที่เป็นของเหลวไปสู่สถานะของแข็งหลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Crosslinking) ซึ่งเรียกว่า กระบวนการวัลคาไนซ์ (Valcanizing) หรือ การอบบ่ม (Curing) โดยการขึ้นรูปยางนั้นจะมีอยู่ 3 แบบ คือ การอัดขึ้นรูป (Compression Moulding) การขึ้นรูปแบบอัดส่ง (Transfer Moulding) และการฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding) (Sommer, 2003)

การอัดขึ้นรูป (Compression Moulding)

การขึ้นรูปยางด้วยวิธีการอัดนั้น เป็นการขึ้นรูปที่ง่ายที่สุด และแม่พิมพ์ก็มีราคาไม่สูงมากนัก ส่วนรูปทรงของชิ้นงานจะมีความซับซ้อนไม่มากนัก อย่างไรก็ตามก็มากพอสำหรับผลิตภัณฑ์หลายๆ ประเภทที่ถูกนำไปใช้ โดยขนาดของแม่พิมพ์จะขึ้นกับชิ้นงานซึ่งมีตั้งแต่ขนาดเพียงไม่กี่กรัมจนไปถึง 10 กิโลกรัม เครื่องสำหรับอัดขึ้นรูปก็เป็นเพียงเครื่องอัดด้วยไฮดรอลิกส์แบบง่ายๆ ไม่ซับซ้อน ตัวอย่างแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2



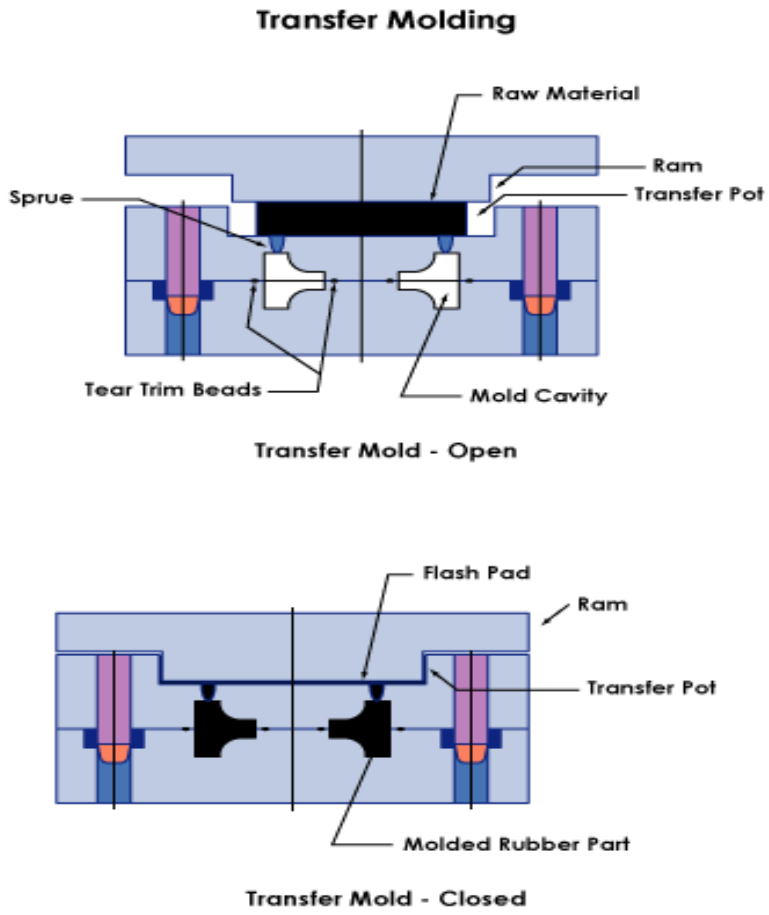
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ยางแบบอัดขึ้นรูป

ที่มา: http://www.atperpg.com/rubber-molding.html

ภาพที่ 2 ตัวอย่างแม่พิมพ์ยางแบบอัดขึ้นรูป (Station Industries)

ที่มา: http://www.atperpg.com/rubber-molding.html

ขั้นตอนการขึ้นรูปนั้นเริ่มจากนำชิ้นยางที่ยังไม่สุกใส่ลงไปในเบ้า (Cavity) แม่พิมพ์โดยผู้ปฏิบัติงาน จากนั้นปิดแม่พิมพ์ใส่เข้าไปในเครื่องอัด เครื่องอัดจะใช้แรงดันกดปิดแม่พิมพ์จนสนิท โดยก่อนจะกดปิดแม่พิมพ์จะมีการกด-คลาย (Bumping) ก่อนเพื่อไล่อากาศออกให้เนื้อยางไหลได้เต็มเบ้า หลังจากได้รับความร้อนจากเครื่องอัดและใช้เวลาระยะหนึ่งจนยางสุกแล้ว ก็เปิดแม่พิมพ์และหยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์โดยผู้ปฏิบัติงาน ทำความสะอาดแม่พิมพ์ จากนั้นแม่พิมพ์ก็จะพร้อมสำหรับการอัดขึ้นรูปในรอบต่อไป (Wheelans, 1974) ดังแสดงในภาพที่ 3

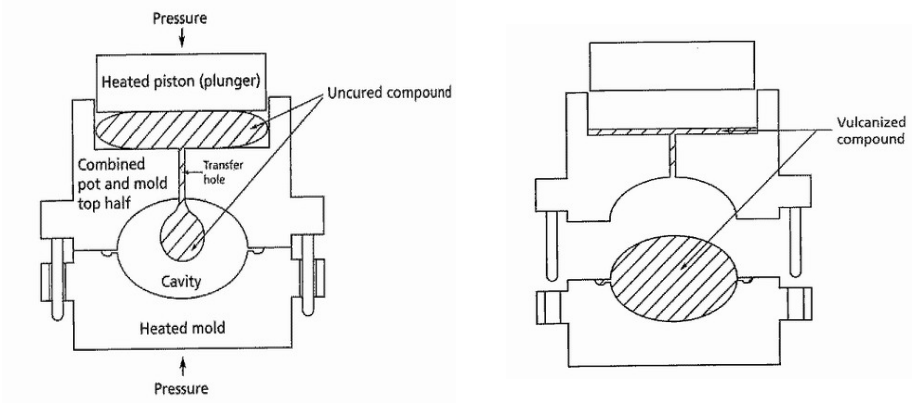


ภาพที่ 3 ส่วนประกอบต่างๆของแม่พิมพ์ยางแบบอัดส่ง

ที่มา: http://www.atperpg.com/rubber-molding.html

การขึ้นรูปแบบอัดส่ง (Transfer Moulding)

การขึ้นรูปแบบอัดส่งนั้นชิ้นงานที่ได้จะมีความแม่นยำมากกว่าแบบอัด และสามารถควบคุมรอบเวลาการผลิตได้ดีกว่า หลักการที่สำคัญของการขึ้นรูปแบบอัดส่งนั้นคือจะมีช่องสำหรับหรับใส่ยาง 1 ช่อง (Pot) โดยช่องดังกล่าวนี้จะเชื่อมต่อกับเบ้าด้วยทางวิ่งซึ่งมีทั้งเบ้าเดียวหรือหลายเบ้าก็ได้ เมื่อใส่ยางที่ยังไม่สุกลงไปในช่องใส่ยาง ส่วนอัด (Plunger) ก็จะอัดเนื้อยางผ่านทางวิ่งเข้าไปสู่เบ้า หลังจากนั้นก็จะให้ความร้อนจนยางสุก นำชิ้นงานออกจากเบ้าโดยผู้ปฏิบัติงาน ตัวอย่างแม่พิมพ์ขึ้นรูปแบบอัดส่ง และการขึ้นรูปแบบอัดส่งดังแสดงในภาพที่ 4



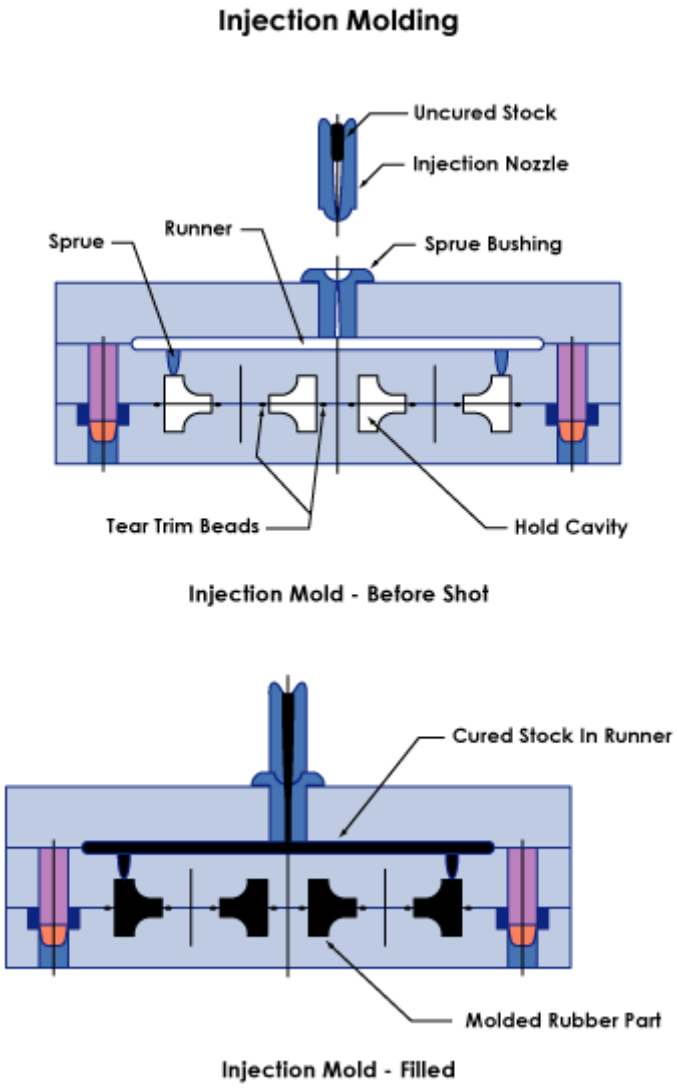
ภาพที่ 4 แสดงการขึ้นรูปยางด้วยวิธีการอัดส่ง (Transfer Moulding)

ที่มา: http://www.atperpg.com/rubber-molding.html

การฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding)

การฉีดขึ้นรูปนั้นเป็นการฉีดเนื้อยางจากกระบอกฉีด (Injection Barrel) ด้วยกระบอกสูบ (Ram) หรือสกรู (Screw) ที่อยู่ภายใน เนื้อยางจะถูกฉีดผ่านหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งเป็นส่วนปลายสุดเข้าสู่รูฉีดของแม่พิมพ์ โดยรูฉีดนี้จะเชื่อมต่อกับทางวิ่ง (Runners) และรูเข้า (Gates) ก่อนเข้าสู่เบ้า (Cavity) ต่อไป โดยที่แม่พิมพ์จะมีตัวทำความร้อนที่มีลักษณะเป็นแท่ง (Heater Rods) ติดอยู่เพื่อทำให้ยางเกิดกระบวนการวัลคาไนซ์ หลังจากยางสุกแล้วแม่พิมพ์จะเปิดออกเพื่อปลดชิ้นงานโดยสามารถนำชิ้นงานออกมาด้วยผู้ปฏิบัติงาน หรือใช้แขนหุ่นยนต์หยิบออกแบบอัตโนมัติก็ได้ ตัวอย่างแม่พิมพ์และกระบวนการฉีดขึ้นรูป

การเติมเนื้อยางจะเป็นแบบอัตโนมัติซึ่งจะเป็นแบบสายยาวเข้าสู่กระบอกฉีด หรือเป็นเม็ดเล็กผ่านกรวย (Hopper) คล้ายการฉีดพลาสติก เครื่องฉีดยางแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เครื่องฉีดยางแบบแนวตั้ง (Vertical Injection Machine) และเครื่องฉีดยางแบบแนวนอน (Horizontal Injection Machine) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ยางแบบฉีดขึ้นรูปแนวตั้ง

ที่มา: http://www.atperpg.com/rubber-molding.html

การตรวจเอกสารด้านการผลิตแม่พิมพ์

Sheng (1990) ได้ทำการพิจารณาถึงจำนวนการทำงานบนเครื่องจักรแบบ 5 แกน ซึ่งได้อธิบายไว้ในเอกสารของเขา เมื่อปี 1990 ในชื่อ “Five Axis Milling” กลุ่มนักพัฒนาของเขาได้ทำการพัฒนาระบบซอฟท์แวร์ไว้ 2 ตัว ตัวแรกคือการทำงานร่วมกันของการประมวลผลภายหลังสำหรับเครื่องกัด 5 แกน อีกตัวก็คือ ระบบจำลองที่จะตรวจสอบโปรแกรม NC ผลิตภัณฑ์ท้ายสุดจากการศึกษานี้มีความสำคัญมาก การทำงานร่วมกันของการประมวลผลภายหลังสามารถถูกใช้กับเครื่องจักร 5 แกนทุกๆ เครื่อง เพื่อที่จะได้มาซึ่งการประมวลผลภายหลังที่จำเพาะซึ่งในที่สุดใช้เพื่อเปลี่ยนข้อมูลตำแหน่งมีดในข้อมูลของเครื่อง ปัญหาที่มีการถกเถียงกันก็คือปัญหาด้านเชิงเส้นซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้มาซึ่งเส้นทางการเดินของมีดตัดเฉือนที่ถูกต้องบนเครื่องจักร 5 แกน

Krzysztof (1987) ในงานวิจัยเรื่อง “Influence of Surface Shape on Admissible Tool Position in Five Axis Machining” กล่าวไว้เกี่ยวการใช้เส้นทางเดินของตัวหัวกัดให้พอดีกับส่วนของพื้นผิว และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตต้องถูกนำมาประยุกต์ใช้และการกัดพื้นผิวต้องราบเรียบและไม่ควรจะเปลี่ยนทางเดินของหัวกัดรวดเร็วเกินไป ในงานวิจัยนี้ก็ได้กล่าวเกี่ยวกับความกว้างของตัว Machine Strip บนพื้นผิวที่สามารถทำการเคลื่อนที่บนพื้นผิวโดยทางเดินต้องทำการเดินโดยให้มีส่วนโค้งน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การควบคุมหัวกัดที่ผู้ใช้สามารถใช้ได้มากขึ้นส่งผลให้คุณภาพของพื้นผิวหลังจากกระบวนการกัดดีขึ้น

Boyd (1987) ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการใช้เครื่องกัด 5 แกน ในงานวิจัยเรื่อง “Five Axis Machining” โดยการกัดในชิ้นงานที่ซับซ้อนจะไม่มีความยากอีกต่อไป โดยงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญในเรื่องของเวลาในกระบวนการ เช่น การกัดในคราวเดียวอาจจะใช้เวลาน้อยกว่าการแยกชิ้นงานหลักเป็นชิ้นงานย่อยๆ และนำมาทำการกัดที่ละชิ้น จากนั้นนำมาประกอบกันโดยการเชื่อมและอาจจะทำให้เสียเงินค่ากระบวนการเพิ่มเติมอีกด้วย

Erik (1979) แนะนำวิธีการเกี่ยวกับการสร้างแบบและการผลิตชิ้นงานสำหรับเครื่อง 4 แกน ซึ่งทั้งนี้วิธีการจะเป็นในลักษณะของการพัฒนาการผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะรูปทรงเรขาคณิต โดยใช้เครื่องกัด CNC 4 แกน เนื่องจากเครื่องประเภทนี้จำเป็นอย่างมากในการผลิต ทั้งนี้เพราะแกนหมุน 1 แกน และแกนเคลื่อนที่เชิงเส้น 3 แกนนั้น จะสามารถผลิตชิ้นงานออกมาได้อย่างสมบูรณ์

นักวิจัยได้ทำการกล่าวถึงข้อเท็จจริงและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ทั้งในด้านขององค์ประกอบต่างๆ ที่จะส่งผลต่อการผลิต และการป้อนข้อมูลให้กับเครื่องจักรไม่ว่าจะเป็นรูปทรงที่ได้ถูกออกแบบมาแล้ว หรือแม้กระทั่งกระบวนการแต่ละขั้นตอนที่ได้วางไว้ในโปรแกรมการออกแบบจะต้องมีความสมบูรณ์และเข้าใจง่าย ซึ่งทั้งนี้การออกแบบหรือกระบวนการที่เหมาะสมจะต้องได้รับการยอมรับและปรับปรุงตามแบบแผนของทางหน่วยงานเกี่ยวข้อง โดยมากแล้วจะเป็นในส่วนของภาคอุตสาหกรรม

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

จากความสำคัญของการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่อระบบเศรษฐกิจโดยรวมของไทยนั้นเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติที่ยังไม่ได้แปรรูปให้มีมูลค่าที่สูงขึ้น จากการส่งออกยางแผ่นดิบที่ยังไม่ได้มีการแปรรูปนั้น ในปี 2548 ประเทศไทยส่งออกประมาณ 99,632,580 กิโลกรัม (ผลรวมจาก 3 แห่ง คือ หาดใหญ่, สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช) ซึ่งรวมเป็นมูลค่าประมาณ 5,504,574,388 บาท ส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ยางของไทยนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี โดยสังเกตจากข้อมูลปี 2544 – 2546 มีมูลค่าการส่งออกดังนี้

1. ปี 2544 ส่งออก 48,484.18 ล้านบาท
2. ปี 2545 ส่งออก 54,369.84 ล้านบาท
3. ปี 2546 ส่งออก 64,548.30 ล้านบาท

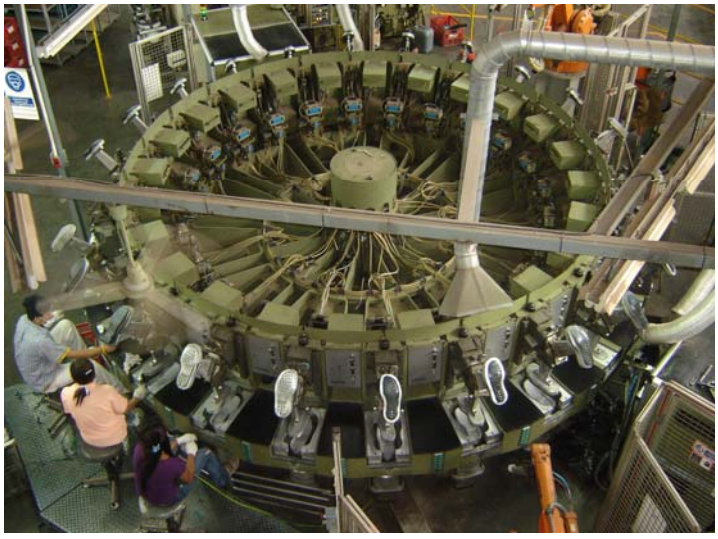
หมายเหตุ: ทั้งนี้ข้อมูลในปี 2548 ล่าสุดยังไม่มีข้อมูลที่สรุปรวบยอดมูลค่าการส่งออกดังนั้นจึงใช้แนวโน้มที่ได้แจกแจงรายละเอียดอย่างสมบูรณ์แล้วจากปี 2544 - 2546

ดังนั้นในการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางนั้นจะส่งผลดีต่อเกษตรกรเนื่องจากความต้องการยางธรรมชาติในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นั้นมีมากขึ้นส่วนในโรงงานที่แปรรูปก็จะทำให้มีประสิทธิภาพของการแปรรูปยางดิบและมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นดีขึ้นและจะส่งผลทำให้ผู้ส่งออกสามารถที่จะส่งออกได้มากขึ้นด้วย ในโครงการนี้ได้มุ่งเน้นเพื่อที่จะตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ด้านอุตสาหกรรมยางของคณะกรรมการนโยบายยางธรรมชาติ

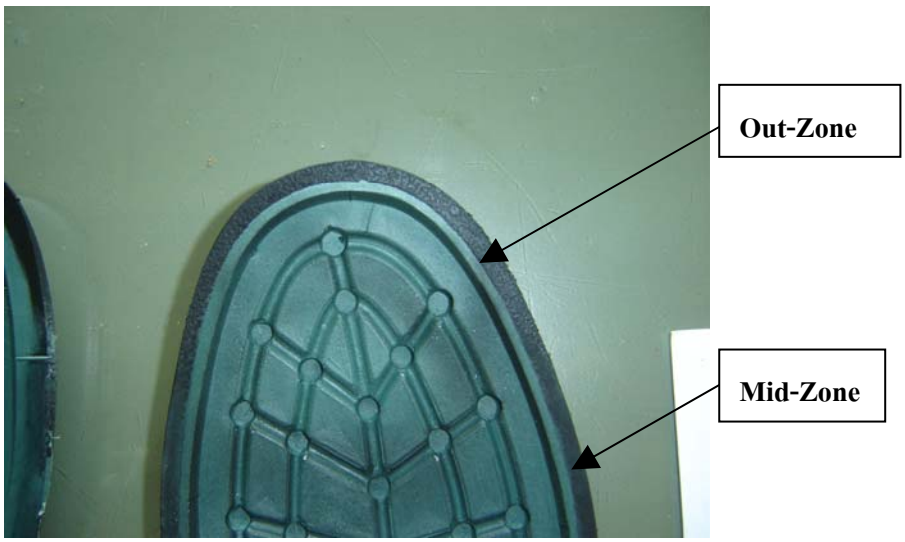
ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

1. ทฤษฎีแม่พิมพ์รองเท้า

รองเท้าเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้พื้นฐานสำหรับมนุษย์ในการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งในการผลิตรองเท้าจำเป็นต้องมีแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปพื้นรองเท้าและประกอบกันเป็นตัวรองเท้า ในปัจจุบันแม่พิมพ์รองเท้านั้นผู้ผลิตในประเทศสามารถผลิตเองได้แต่ก็เฉพาะสำหรับรองเท้าที่มีความซับซ้อนไม่มากนักสำหรับแม่พิมพ์รองเท้าที่มีความซับซ้อนมากๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่พิมพ์ฉีดพื้นยางรองเท้าแบบวัสดุ 2 ชนิด โดยภาพที่ 6 จะแสดงให้เห็นถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าแบบวัสดุ 2 ชนิด โดยเครื่องฉีดจะหมุนแม่พิมพ์ไปยังจุดต่างๆ ซึ่งจะเริ่มกระบวนการตั้งแต่จุดที่มีพนักงานประจำที่อยู่ดังแสดงในภาพที่ 6 จากนั้นเครื่องฉีดจะหมุนแม่พิมพ์ในทิศทวนเข็มนาฬิกาไปที่จุดทำงานต่างๆ จนกลับมาที่เดิมก็จะได้ชิ้นงาน โดยเครื่องฉีดประเภทนี้จะมีหัวฉีด 2 หัวฉีด ซึ่งหัวฉีดทั้งสองจะทำการฉีดพื้นรองเท้า 2 ชั้นอันได้แก่ พื้นรองเท้าส่วนนอก (Out-Zone) และพื้นรองเท้าส่วนกลาง (Mid-Zone) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 เครื่องฉีดยางที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าแบบวัสดุ 2 ชนิด ของบริษัทซีเคเอสโมลด์



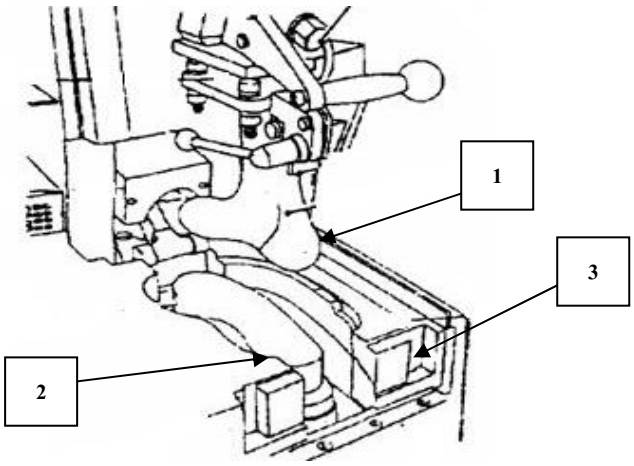
ภาพที่ 7 ตัวอย่างของชิ้นงานที่วัสดุ 2 ชนิด ของบริษัทซีเคเอสโมลด์

ในการผลิตรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าวัสดุ 2 ชนิดโดยฉีดแบบหุ้มดังแสดงในภาพที่ 7 แม่พิมพ์ที่ใช้จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนดังนี้

1. หุ่นเท้า (Foot Form หรือ Shoes Last) มีหน้าที่สำหรับสวมหนังหุ้มรองเท้าก่อนการฉีดพื้นรองเท้าดังแสดงในภาพที่ 8 หมายเลขที่ 1

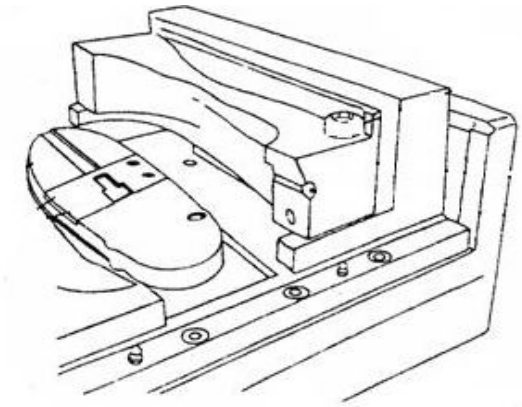
2. พื้นแม่พิมพ์ด้านบน (Top Cavity) มีหน้าที่เป็นคาวิตีสำหรับพื้นรองเท้าใน Mid Zone ดังแสดงในภาพที่ 8 หมายเลขที่ 2

3. พื้นแม่พิมพ์ด้านล่าง (Bottom Cavity) มีหน้าที่เป็นคาวิตีสำหรับพื้นรองเท้าใน Out Zone ดังแสดงในภาพที่ 8 หมายเลขที่ 3



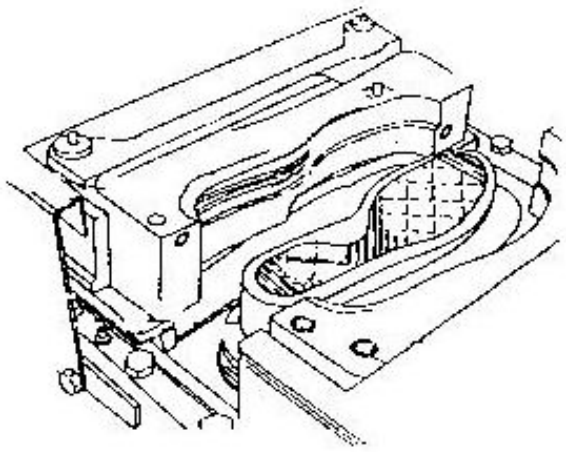
ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์รองเท้า

ที่มา: จากคู่มือการใช้งานเครื่องเดสมา



ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าวัสดุ 2 ชนิดโดยฉีดแบบหุ้ม

ที่มา: จากคู่มือการใช้งานเครื่องเดสมา



ภาพที่ 10 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าวัสดุ 2 ชนิดโดยฉีดแบบหุ้ม

ที่มา: จากคู่มือการใช้งานเครื่องเดสมา

ส่วนที่ผลิตยากที่สุดของแม่พิมพ์รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าวัสดุ 2 ชนิด โดยฉีดแบบหุ้ม คือ

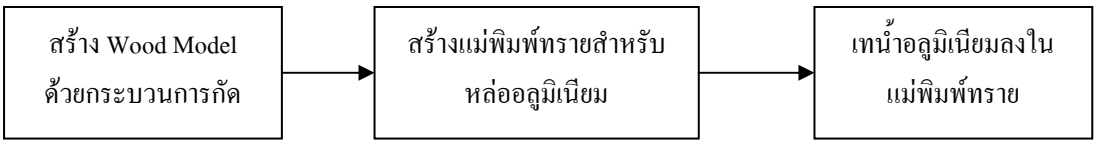
1. แม่พิมพ์ส่วนพื้นรองเท้าทั้งในส่วน Out-Zone และ Mid-Zone ดังภาพที่ 11 และ 12
2. หุ่นเท้า (Foot Form) ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 11 แม่พิมพ์พื้นรองเท้าส่วน Out-Zone ของบริษัทซีเคเอสโมลด์

ภาพที่ 12 แม่พิมพ์พื้นรองเท้าส่วน Mid-Zone ของบริษัทซีเคเอสโมลด์

ภาพที่ 13 หุ่นเท้า (Foot Form) ของบริษัทซีเคเอสโมลด์

โดยแม่พิมพ์ส่วนพื้นรองเท้าทั้งในส่วน Out-Zone และ Mid-Zone จะเป็นชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม โดยมีขั้นตอนการผลิตดังแสดงในภาพที่ 14 โดยในขั้นตอนที่ 1 จะทำการกัดแบบงานหล่อ (Pattern) ที่เราเรียกว่า Wood Model โดยกระบวนการกัดดังแสดงในภาพที่ 14 หลังจากนั้นจะนำ Wood Model ไปสร้างแม่พิมพ์หล่อทรายแล้วทำการเทน้ำอลูมิเนียมในแม่พิมพ์ทรายที่สร้างไว้หลังจากนั้นก็จะได้แม่พิมพ์ส่วนพื้นรองเท้าทั้งในส่วน Out-Zone และ Mid-Zone ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12



ภาพที่ 14 ขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ส่วนพื้นรองเท้าทั้งในส่วน Out-Zone และ Mid-Zone

ภาพที่ 15 แบบงานหล่อ (Pattern) หรือ Wood Model ของบริษัทซีเคเอสโมลด์

2. ทฤษฎีเทคโนโลยีซีเอ็นซี

2.1 การควบคุมในระบบซีเอ็นซี

การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในระบบซีเอ็นซีแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งและการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง

2.1.1 การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง (Point-To-Point : PTP)

การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งนี้จะเป็นการควบคุมให้เครื่องมือตัดเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งตามที่เราโปรแกรมไว้ โดยที่ระบบขับเคลื่อนอาจจะขับเคลื่อนแนวแกนเดียวหรือหลายๆ แนวแกนพร้อมกัน การควบคุมการเคลื่อนแบบนี้มักจะใช้กับกระบวนการทำงานที่เกี่ยวกับงานเจาะ เช่น งานเจาะรู งานคว้านรู งานคว้านเรียบ และงานต๊าปเกลียว เป็นต้น

2.1.2 การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (Continuous Path)

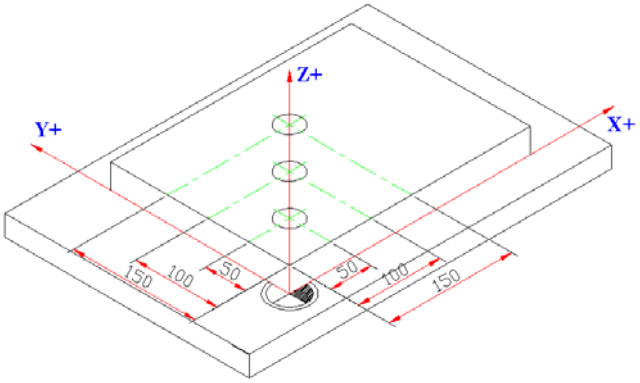
การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องหรือการเคลื่อนที่ตามเส้นรอบรูปการควบคุมในลักษณะนี้แนวแกนของเครื่องมือตัดนั้นอาจจะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงหรือแนวเส้นโค้ง หรือทั้งแนวเส้นตรงและเส้นโค้งพร้อมกัน ในกรณีที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งนี้ แนวแกนของเครื่องซีเอ็นซีจะเคลื่อนที่พร้อมกันอย่างน้อย 2 แกน หรือมากกว่า 2 แกน

2.2 ระบบของตำแหน่ง (Positioning Systems)

ในการเขียนโปรแกรมเอ็นซีจำเป็นต้องอาศัยระบบโคออร์ดิเนต เพื่อใช้ระบุตำแหน่งในการเคลื่อนที่เครื่องมือตัดบนชิ้นงาน การเปลี่ยนเครื่องมือตัด (Tool Change) และกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์จับยึด การกำหนดตำแหน่งของเครื่องมือตัดจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบสัมบูรณ์และแบบต่อเนื่อง (Absolute and Incremental Position System) โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งของแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

2.2.1 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning)

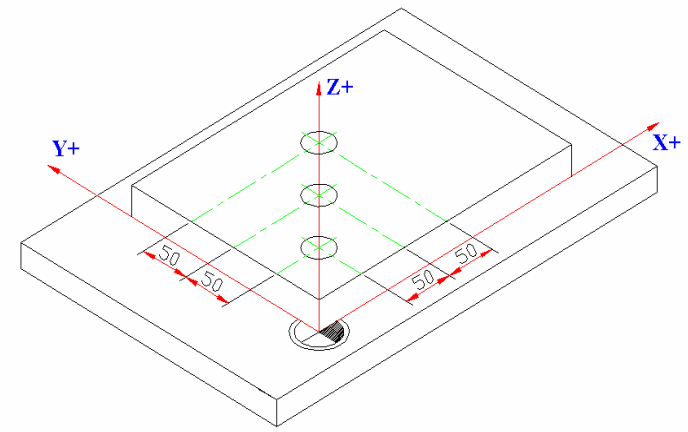
การกำหนดตำแหน่งของจุดโดยวิธีแบบสัมบูรณ์นี้จะอาศัยจุดอ้างอิงเพียงจุดเดียวในแบบงาน ซึ่งจุดที่อ้างอิงนี้เป็นจุดศูนย์ของระบบโคออร์ดิเนต การระบุขนาดของชิ้นงานให้ลากขนานกับแนวแกนและเริ่มต้นจากจุดอ้างอิงเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning)

2.2.2 การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Incremental Positioning)

การกำหนดตำแหน่งของจุดโดยวิธีนี้จะอ้างอิงจุดสุดท้ายที่ระบุตำแหน่งเป็นจุดเริ่มต้นของการให้ขนาดใหม่ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 17



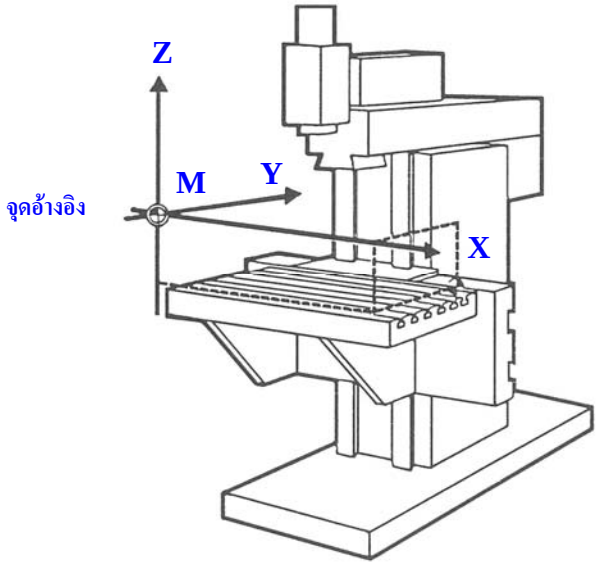
ภาพที่ 17 การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Incremental Positioning)

2.3 โคออร์ดิเนตอ้างอิง (Reference Coordinate)

โคออร์ดิเนตอ้างอิงจะประกอบด้วยจุดอ้างอิงหรือจุดศูนย์ของเครื่อง จุดอ้างอิงของการเลื่อนกลับ จุดอ้างอิงของโปรแกรมและจุดอ้างอิงของชิ้นงาน

2.3.1 จุดอ้างอิงของเครื่อง (Machine Reference Point : M)

จุดอ้างอิงของเครื่องหรือจุดศูนย์ของเครื่อง (Machine Zero Point) จุดนี้จะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของระบบโคออร์ดิเนตของเครื่องจักรซีเอ็นซี เราใช้จุดอ้างอิงของเครื่องนี้สำหรับการยึดจับชิ้นงานบนเครื่อง กล่าวคือการจับยึดชิ้นงานบนเครื่องนั้นจะต้องให้สัมพันธ์กันระหว่างโคออร์ดิเนตของชิ้นงานกับโคออร์ดิเนตของเครื่อง จุดอ้างอิงของเครื่องนี้จะเป็นตำแหน่งที่ถูกกำหนดโดยบริษัทที่ผลิตเครื่อง เราไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งได้ ดังแสดงในภาพที่ 18



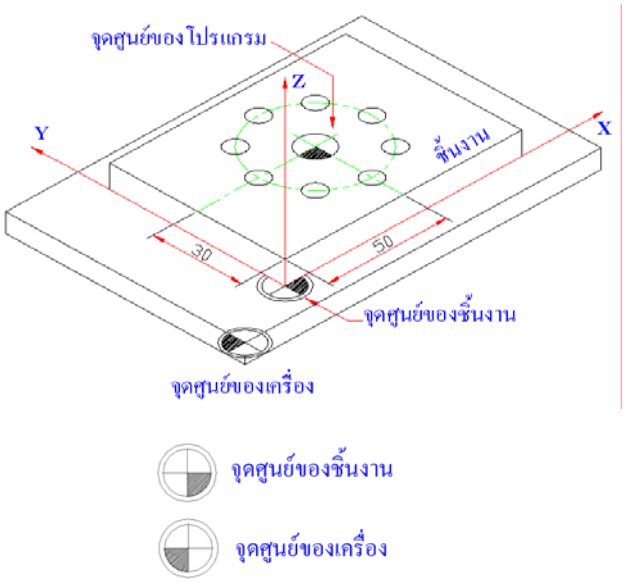
ภาพที่ 18 จุดอ้างอิงของเครื่อง (Machine Reference Point : M)

2.3.2 จุดอ้างอิงของการเลื่อนกลับ (Reference Return Point : R)

ตำแหน่งจุดอ้างอิงของการเลื่อนกลับนี้จะถูกกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้า ซึ่งจะมีความเที่ยงตรงในการเคลื่อนที่ของแนวแกนเนื่องจากใช้ลิมิตสวิตซ์ เป็นตัวควบคุมระยะการเคลื่อนที่ เราใช้จุดอ้างอิงของการเคลื่อนกลับนี้ช่วยในการปรับค่าและควบคุมการเคลื่อนที่ของโต๊ะงานหรือการหมุนของเพลาเครื่องจักร โดยที่ค่าโคออร์ดิเนตของจุดอ้างอิงนี้จะมีขนาดคงเดิม และเราจะทราบค่าตัวเลขที่แน่นอน ซึ่งปกติจะมีค่าที่สัมพันธ์กับจุดศูนย์ของเครื่องจักร ตัวอย่างตำแหน่งของจุดอ้างอิง

2.3.3 จุดอ้างอิงของโปรแกรม (Program Reference Point : P)

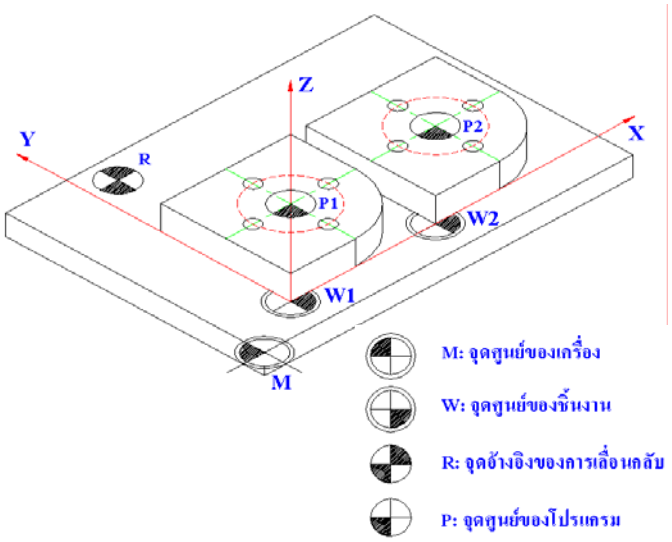
โดยปกติค่าโคออร์ดิเนตในระบบโคออร์ดิเนตของเครื่องจะไม่สามารถนำไปใช้งานสำหรับการเขียนโปรแกรมได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะมีความแตกต่างกันกับระบบโคออร์ดิเนตของชิ้นงาน ในกรณีรี้ผู้เขียนโปรแกรมจำเป็นต้องเลือกจุดที่มีความสะดวกสำหรับให้เป็นจุดอ้างอิงหรือจุดศูนย์ของโปรแกรม ซึ่งถ้าเป็นชิ้นงานทีง่ายๆ การกำหนดจุดอ้างอิงของโปรแกรมมักจะเป็นจุดเดียวกันกับจุดอ้างอิงของชิ้นงาน แต่ถ้าชิ้นงานมีความสลับซับซ้อน ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้จุดอ้างอิงของโปรแกรมและจุดศูนย์ของชิ้นงานให้มีความแตกต่างกัน ตัวอย่างการกำหนดจุดอ้างอิงของโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 จุดอ้างอิงของโปรแกรม (Program Reference Point : P)

2.3.4 จุดอ้างอิงของชิ้นงาน (Work Reference Point)

จุดอ้างอิงหรือจุดศูนย์ของชิ้นงาน จะใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการกำหนดระบบโคออร์ดิเนตของชิ้นงาน โดยที่สามารถเลือกตำแหน่งตรงไหนก็ได้บนโต๊ะชิ้นงาน โดยการป้อนค่าเข้าไปในขั้นตอนการปรับตั้ง ตัวอย่างการกำหนดจุดอ้างอิงของชิ้นงานแสดงดังในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 จุดอ้างอิงของชิ้นงาน (Work Reference Point)

3. ทฤษฎีเครื่องกัด 5 แกน

3.1 หลักการทำงานของเครื่องกัด 5 แกน

สามารถแทนการทำงานของเครื่องกัด 5 แกนได้ด้วย Kinematic Chain Diagram เป็นไดอะแกรมที่ใช้แสดงให้เห็นถึงแกนใดบ้างทำหน้าที่เคลื่อนที่ชิ้นงานและแกนใดบ้างที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่มีดตัดเฉือน โดยในไดอะแกรมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มหนึ่งจับชิ้นงาน และอีกกลุ่มหนึ่งจับมีดตัดเฉือน เพราะในการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด 5 แกนนั้นเหมือนกับการที่มีหุ่นยนต์ 2 ตัว ทำงานร่วมกัน โดยที่หุ่นยนต์ตัวแรกจับชิ้นงาน และหุ่นยนต์อีกตัวจับมีดตัดเฉือน จะเห็นว่า แกน X, Y, A และ B ทำการจับชิ้นงาน ส่วนแกน Z ทำการจับมีดตัดเฉือน

การขึ้นรูปโดยตำแหน่ง (Positioning with Five Axes) ในชิ้นงานบางลักษณะต้องมีกระบวนการขึ้นรูปหลายกระบวนการ โดยมีการเอียงผิวชิ้นงานด้านต่างๆ เทียบกับแกนอ้างอิงของชิ้นงาน การขึ้นรูปประเภทนี้ จะอาศัยแกนหมุนทั้ง 2 แกนของเครื่องกัด 5 แกน ชิ้นงานจะถูกยึดบนโต๊ะของเครื่องแล้วทำการหมุนชิ้นงานหรือมีดตัดเฉือน ให้เอียงทำมุมสัมพัทธ์ตามแบบที่ต้องการ จากนั้นจะคงตำแหน่งนั้นไว้ แล้วเริ่มทำกระบวนการต่างๆ โดยอาศัยเฉพาะการเคลื่อนที่ของแกนเชิงเส้นทั้ง 3 แกนเท่านั้นด้วยเหตุนี้ทำให้เราสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานได้โดยการจับยึดชิ้นงานเพียงครั้งเดียว ทำให้ลดเวลาในการผลิตรวมทั้งยังทำให้ค่าความผิดพลาดในการผลิตลดน้อยลงด้วย

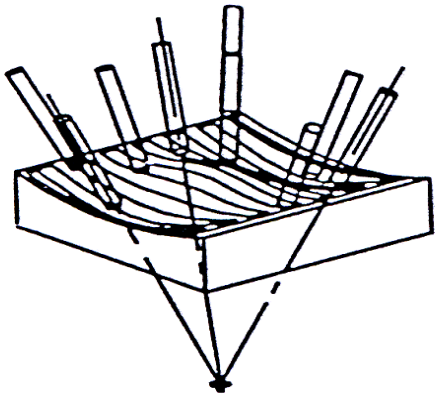
การขึ้นรูปบนพื้นผิวโค้ง (Profiling with Five Axes) ลักษณะของงานที่ใช้การขึ้นรูปบนพื้นผิวโค้งด้วยเครื่องกัด 5 แกน เช่น ใบพัดสำหรับเครื่องยนต์ไอพ่น หรือ โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า, พื้นผิวของชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์,อากาศยาน โดยพื้นผิวเหล่านี้จะมีความซับซ้อนทางสมการคณิตศาสตร์มาก หรือเป็นพื้นผิวที่ซับซ้อน คือไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยเครื่องกัด 3 แกน การขึ้นรูปแบบนี้ทั้งชิ้นงานและมีดตัดเฉือนจะทำการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันโดยอาศัยแกนทั้ง 5 เคลื่อนที่พร้อมๆ กัน ตามตำแหน่งของจุดและมุมเอียงของชิ้นงานและมีดตัดเฉือนบนพื้นผิวที่จะทำการขึ้นรูป จะเห็นได้ว่าในการคำนวณหาตำแหน่งเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ CAM ช่วยในการคำนวณ รวมถึงชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนจะต้องมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

3.2 ลักษณะการคำนวณทางเดินของมีดตัดเฉือน

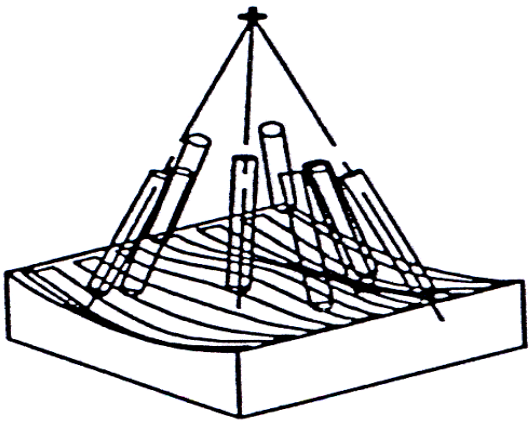
ลักษณะการคำนวณทางเดินของมีดตัดเฉือนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณตามรายละเอียด ดังต่อไปนี้

การคำนวณเวกเตอร์ (i, j, k) โดยจุดและเส้นตรง
การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) โดยตั้งฉากและสัมพัทธ์
การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน(i, j, k) โดย Swarf Drive
การคำนวณเวกเตอร์(i, j, k) โดยจุดและเส้นตรงในการคำนวณลักษณะนี้ยังแบ่งเป็น
เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) เข้าหาจุด (ภาพที่ 21)
เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) ออกจากจุด (ภาพที่ 22)
เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) ออกจากเส้นตรง (ภาพที่ 23)
เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) เข้าหาเส้นตรง (ภาพที่ 24)

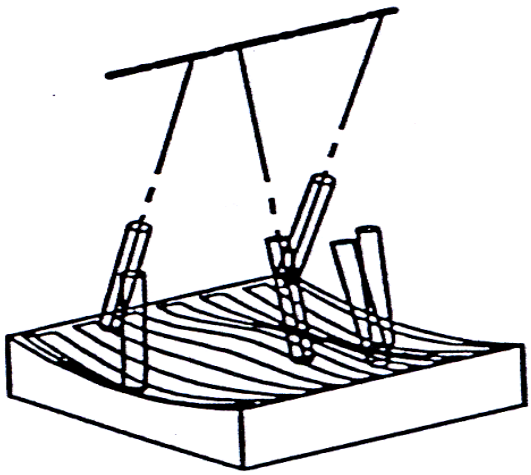
ดังนั้นการคำนวณทางเดินของมีดตัดเฉือนของเวกเตอร์ (i, j, k) ที่คำนวณเข้าหาหรือออกจากจุดจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ 5 แกนและเวกเตอร์ (i, j, k) ที่คำนวณเข้าหาหรือออกจากเส้นตรงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ 4 แกน



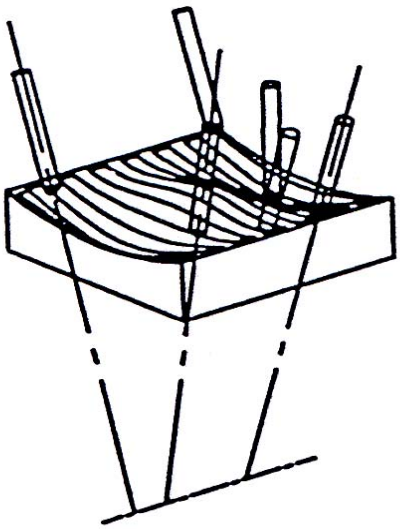
ภาพที่ 21 เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) เข้าหาจุด



ภาพที่ 22 เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) ออกจากจุด



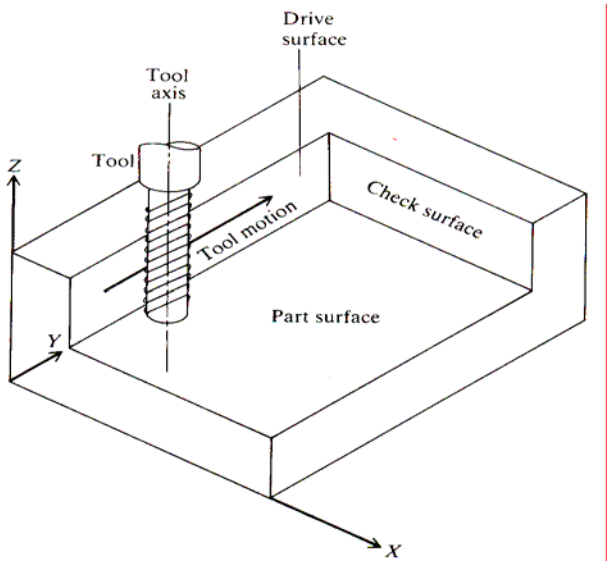
ภาพที่ 23 เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) ออกจากเส้นตรง



ภาพที่ 24 เวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) เข้าหาเส้นตรง

การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) โดยตั้งฉากและสัมพัทธ์

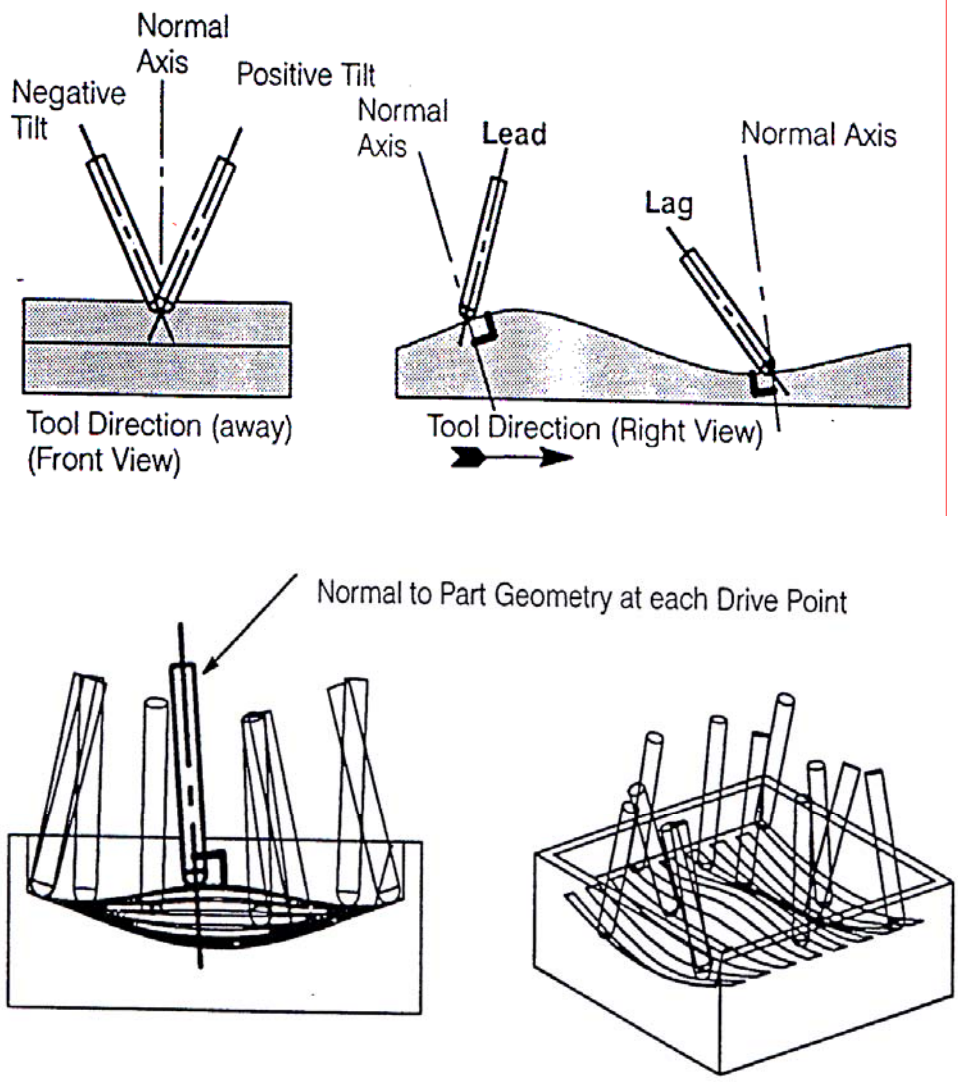
ในการคำนวณทางเดินของมีดตัดเฉือนมีพื้นผิวที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 พื้นผิว คือ Part Surface, Drive Surface, Check Surface ดังแสดงภาพที่ 25



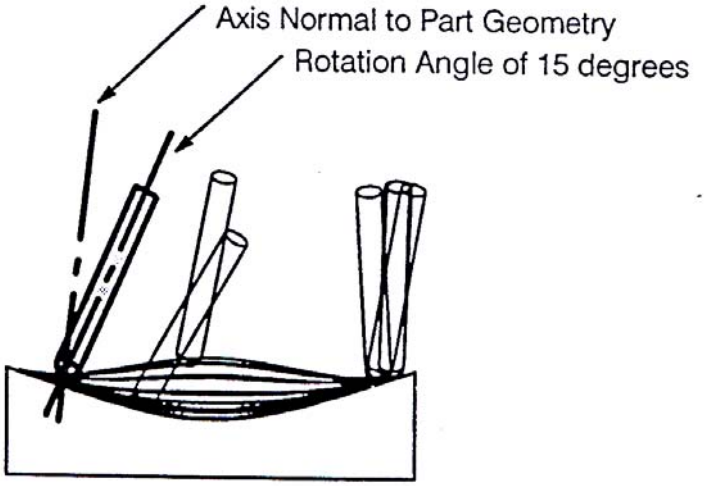
ภาพที่ 25 การคำนวณทางเดินของมีดตัดเฉือนที่พื้นผิว

การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือน (i, j, k) โดยตั้งฉากและสัมพัทธ์

การคำนวณในหัวข้อนี้จะเป็นการคำนวณโดยให้แกนของมีดตัดเฉือนตั้งฉากหรือทำมุมสัมพัทธ์กับพื้นผิวในดังแสดงในภาพที่ 26 เป็นวิธีการใส่มุมสัมพัทธ์ซึ่งมีอยู่ 2 แบบคือ มุมนำ (Lead Angle) และมุมเอียง (Tilt Angle) ซึ่งสามารถนิยามมุมทั้ง 2 ได้โดยมุมนำ (Lead Angle) คือ มุมที่นิยามตามทิศการเคลื่อนที่ของมีดตัดเฉือนดังแสดงในภาพที่ 26 มุมเอียง (Tilt Angle) คือ มุมที่นิยามตามทิศที่ตั้งฉากของมีดตัดเฉือนในระนาบการขึ้นรูปดังแสดงในภาพที่ 27



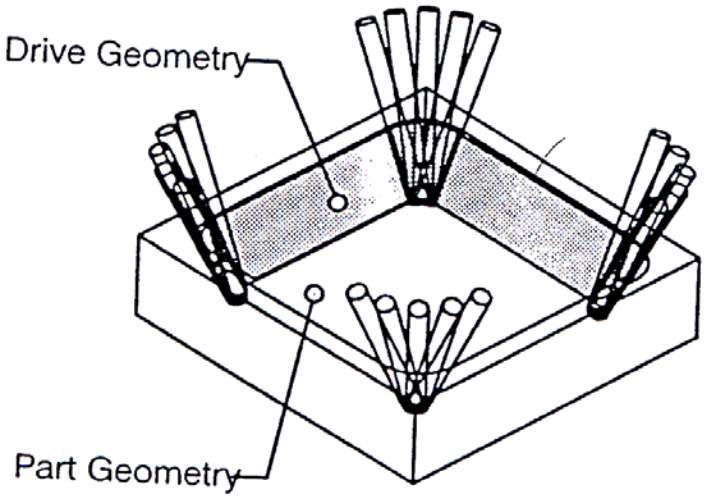
ภาพที่ 26 การคำนวณโดยให้แกนของมีดตัดเฉือนตั้งฉาก Part Surface



ภาพที่ 27 การคำนวณโดยให้แกนของมีดตัดเฉือนทำมุมสัมพัทธ์กับ Part Surface

การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือนโดย (Swarf Drive)

การคำนวณเวกเตอร์(i, j, k) วิธีนี้จะรักษาให้เวกเตอร์(i, j, k) เคลื่อนที่ขนานไปกับ Drive Surface ดังแสดงในภาพที่ 28 จะเห็นได้ว่าด้านข้างของมีดตัดเฉือนจะถูกบังคับตำแหน่งและทิศทางโดย Drive Surface ส่วนทางปลายของมีดตัดเฉือนจะถูกบังคับโดย Part Surface



ภาพที่ 28 การคำนวณเวกเตอร์บอกทิศทางของแกนมีดตัดเฉือนโดยวิธี (Swarf Drive)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ในการทดลองเพื่อให้ได้ชิ้นงานแบบไม้และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองซึ่งแบ่งได้เป็น 3 หมวดใหญ่ๆ คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานรองเท้าและอุปกรณ์อื่นๆ โดยมีรายละเอียดในแต่ละหมวดดังนี้

1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองครั้งนี้ใช้โปรแกรมของบริษัท เดลแคม ประเทศไทย จำกัด ซึ่งโปรแกรมที่ใช้มีรายละเอียดดังนี้

1.1 โปรแกรม Power Shape ช่วยในการออกแบบชิ้นงานและออกแบบแม่พิมพ์ยางรองเท้า

1.2 โปรแกรม Power Mill version 6 ช่วยในการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด

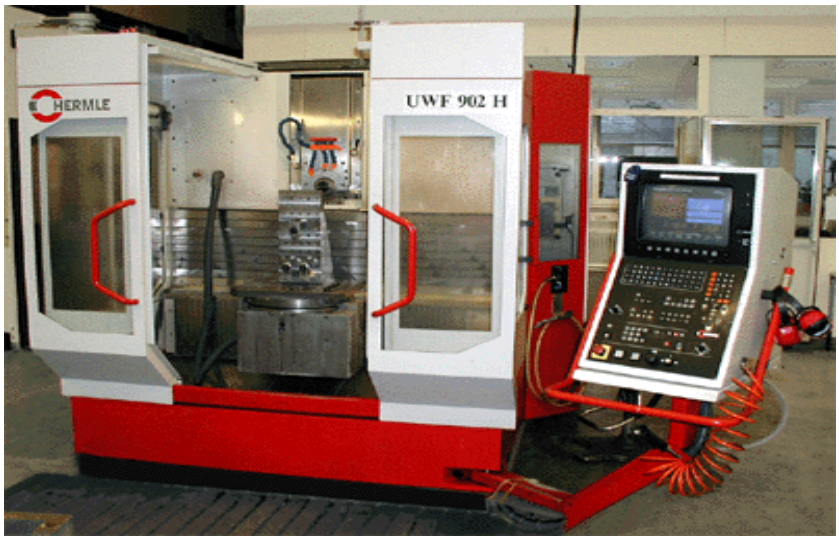
2. เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เครื่องกัดห้าแกน MIKRON UCP 800 Duro ดังแสดงในภาพที่ 29

ภาพที่ 29 เครื่องกัดห้าแกน MIKRON UCP 800 Duro ของสถาบันไทย-เยอรมัน

2.2 เครื่องกัดห้าแกน CHERMLE UWF 902 H ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 เครื่องกัดห้าแกน CHERMLE UWF 902 H ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

3. อุปกรณ์อื่น ๆ

อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

3.1 วัตถุดิบที่เป็นไม้เรซินและอะลูมิเนียมที่ใช้ในการผลิต
3.2 ชุดมีดตัดเฉือนชิ้นงาน
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกัดห้าแกน
3.4 ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 1 ชุด

วิธีการ

วิธีการเพื่อให้ได้ชิ้นงานแบบไม้สำหรับนำไปใช้ในการหล่อแม่พิมพ์และพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม มีรายละเอียดวิธีการทำดังนี้

1. การออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

2. การออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

3. การออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้

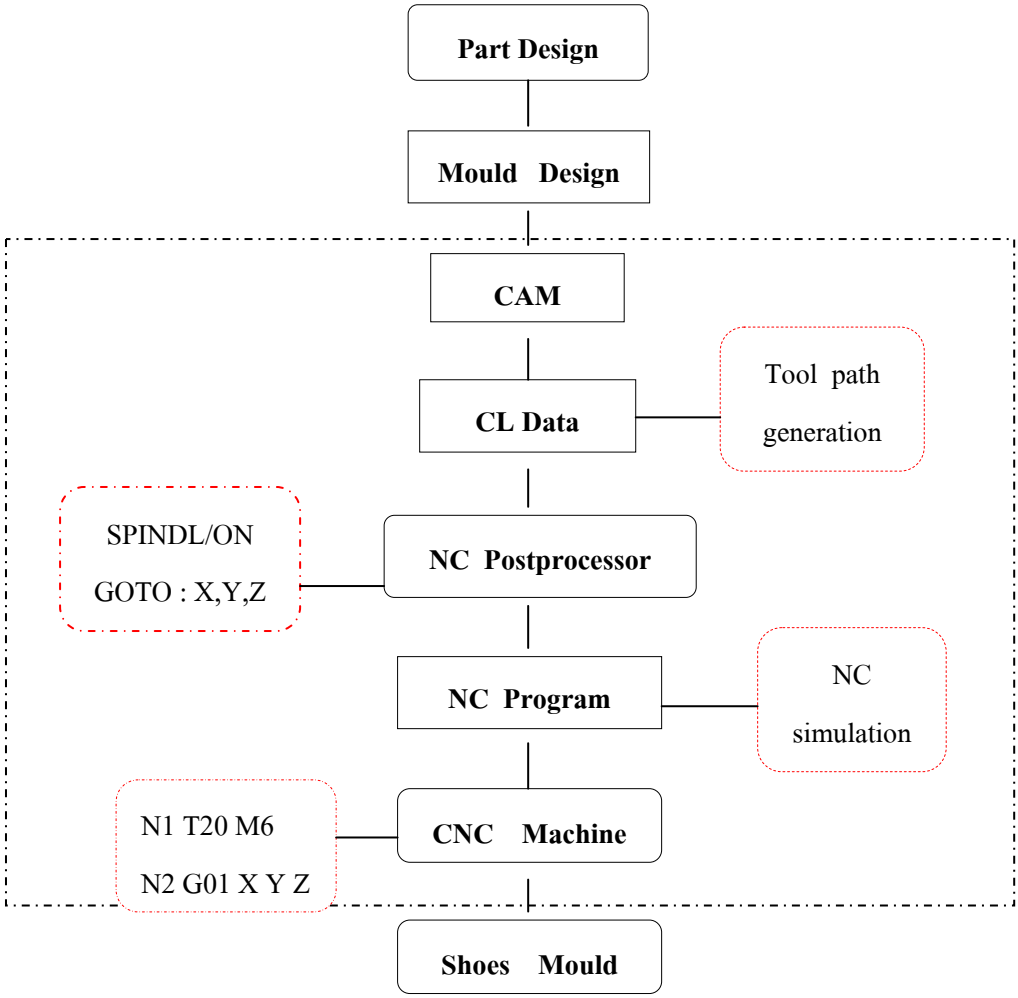
4. การเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้

5. การเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

6. การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

7. การขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

แผนภาพขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงานตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นกระบวนการ เพื่อใช้เป็นแบบแผนในการดำเนินงานครั้งนี้ ดังแสดงในภาพที่ 31



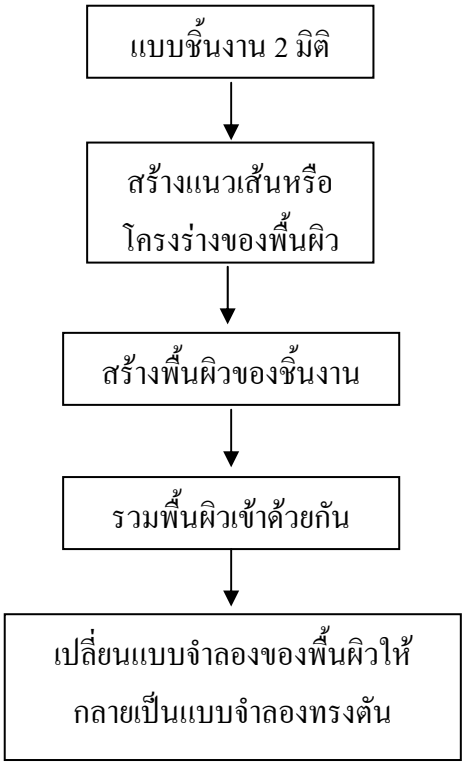
ภาพที่ 31 แผนภาพขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน

1. การออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

ขั้นตอนแรกทำการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า โดยใช้โปรแกรม Power Shape จากนั้นนำแบบชิ้นงาน 2 มิติ ทำการสร้างแนวเส้นหรือโครงร่างของพื้นผิว นำโครงร่างของพื้นผิวที่ได้ สร้างพื้นผิวของชิ้นงาน จากนั้นทำการรวมแบบจำลองเข้าด้วยกัน ปรับพื้นผิวให้มีความสมบูรณ์ รวมทั้งรายละเอียดต่างๆ ขั้นตอนสุดท้ายเปลี่ยนแบบจำลองพื้นผิวให้กลายเป็นแบบจำลองทรงตัน หรือเรียกว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์แบบโซลิดโมเดล

ในการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้านั้น เพื่อให้ทราบถึงค่าต่างๆ เช่น ช่องว่าง (Space) พื้นผิว (Surface) หรือเนื้อตัน (Solid Material) ทำให้ทราบปริมาตร (Volume) มวล (Mass) ศูนย์กลางของปริมาตร (Centroid) โมเมนต์แรงเฉื่อย (Moments of Inertia) ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าลักษณะจำเพาะ จำลองการผลิต หรือวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ซึ่งรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้าที่ได้จากการออกแบบนั้น จะนำไปใช้ในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์รวมถึงการออกแบบชิ้นงานแบบไม้ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบเพื่อให้ได้รูปทรง 3 มิติ มีลำดับต่อไปนี้

แผนภาพขั้นตอนการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้าโดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

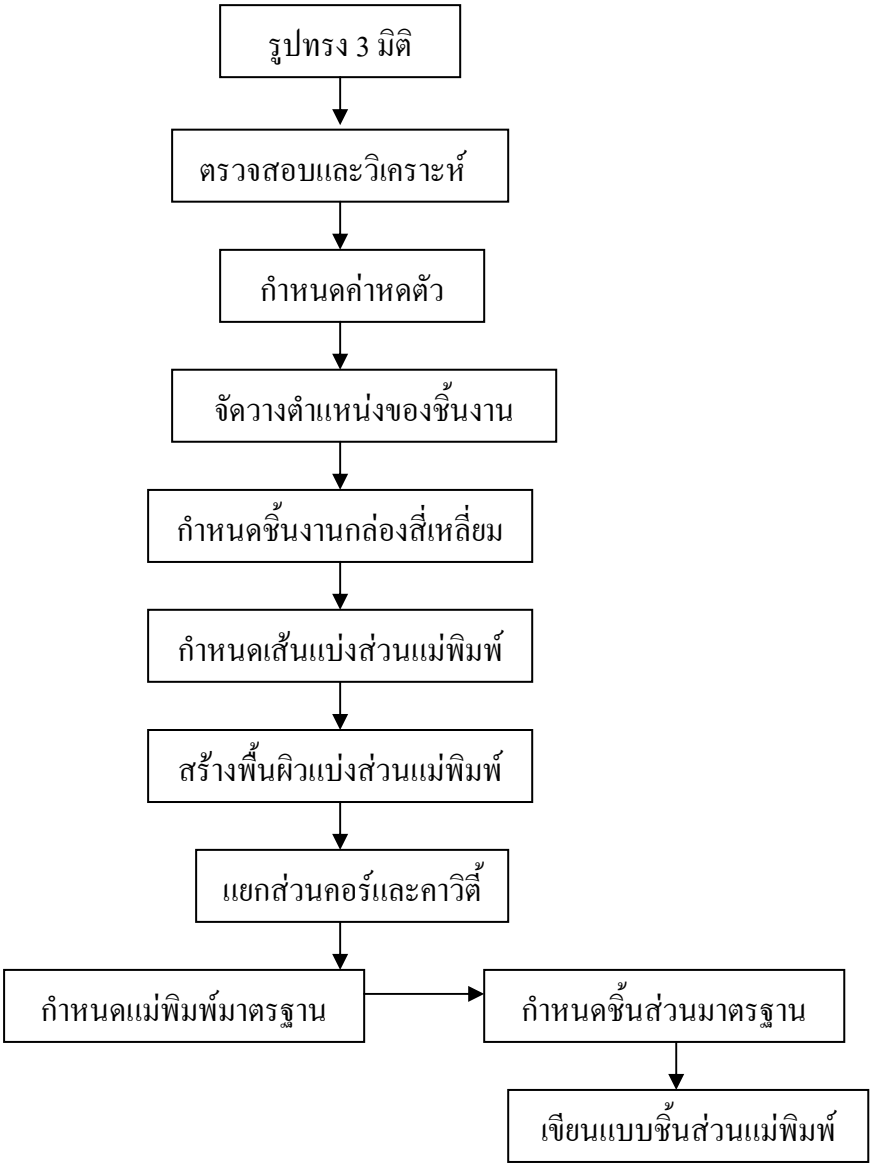


ภาพที่ 32 แผนภาพขั้นตอนการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

2. การออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

หลังจากได้รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า ขั้นตอนต่อไปคือ กระบวนการออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Power Shape ในการออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์

จะมีขั้นตอนต่างๆ ขั้นตอนแรกนำรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้าที่ได้จากการออกแบบทำการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อหาความลาดเอียง กำหนดค่าการหดตัวของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า คำนวณค่าต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ สร้างพื้นผิวในการแบ่งเส้นเปิดแม่พิมพ์ จากนั้นทำการแบ่งชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ซึ่งจะได้ส่วนนูนและส่วนเว้าและกำหนดแม่พิมพ์มาตรฐาน รวมถึงกำหนดชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ เมื่อทำการออกแบบแม่พิมพ์สมบูรณ์แล้วจากนั้นเขียนแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ทุกชิ้นเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ซึ่งอธิบายในรายละเอียดตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้



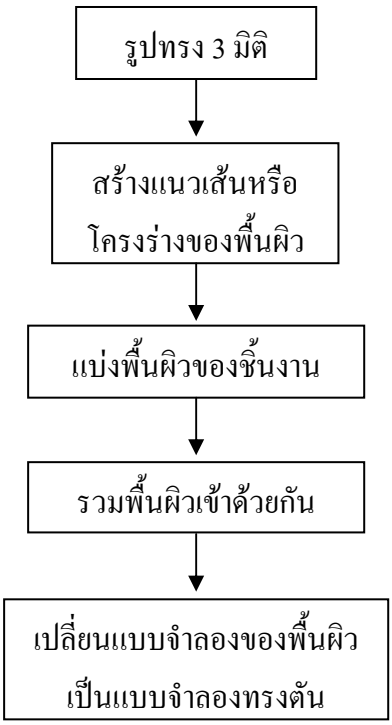
ภาพที่ 33 แผนภาพขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

3. การออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้

หลังจากขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์แล้ว ในด้านกระบวนการผลิตจริง ยังจำเป็นต้องออกแบบชิ้นส่วนเพื่อใช้ในกระบวนการหล่อแม่พิมพ์ ซึ่งเรียกว่าชิ้นงานแบบไม้ (Wood Model) โดยใช้โปรแกรม Power Shape จากนั้นนำรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า ทำการสร้างแนวเส้นแบ่งส่วนพื้นผิวของชิ้นงาน นำเส้นแบ่งส่วนพื้นผิวที่ได้สร้างพื้นผิวของชิ้นงานแล้วแบ่งพื้นผิวของชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ทำการรวมแบบจำลองเข้าด้วยกัน ปรับพื้นผิวให้มีความสมบูรณ์ รวมทั้งรายละเอียดต่างๆ

ขั้นตอนสุดท้ายเปลี่ยนแบบจำลองพื้นผิวให้กลายเป็นแบบจำลองทรงตันหรือเรียกว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์แบบโซลิดโมเดล เพื่อให้ได้รูปทรง 3 มิติ สำหรับชิ้นงานแบบไม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งอธิบายขั้นตอนในการออกแบบรูปทรง 3 มิติ สำหรับชิ้นงานแบบไม้ ดังนี้

แผนภาพขั้นตอนการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

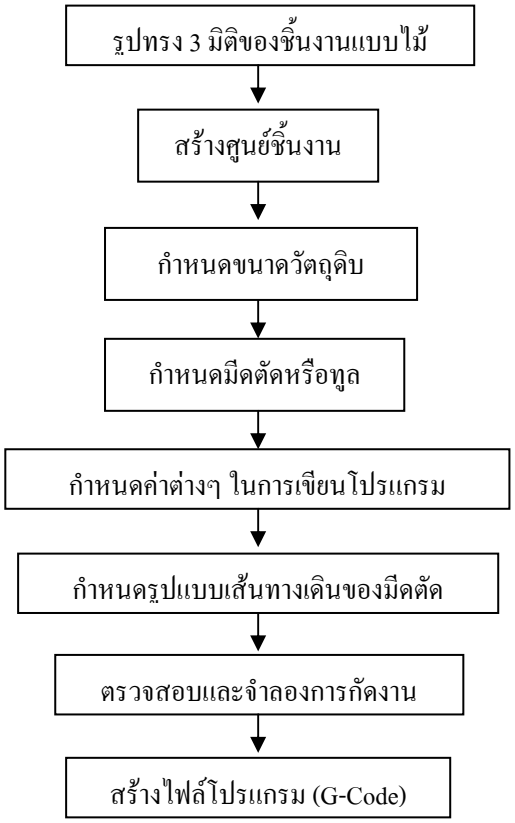


ภาพที่ 34 แผนภาพขั้นตอนการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้

4. การเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้

นำรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้ที่สมบูรณ์ ทำการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้โดยใช้โปรแกรม (Power Mill) ซึ่งในส่วนของโปรแกรมจะมีวิธีการจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Simulation) เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพพจน์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยตรวจสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากการขึ้นรูปชิ้นงาน ขั้นตอนนี้ได้นำเอาเครื่องตัวอย่างมาทดสอบในการทดสอบการเดินของมีดตัดเฉือนเพื่อทดสอบความถูกต้องของการเดินในลักษณะต่างๆ จากนั้นจะทำการแปลงทางเดินของเครื่องมือตัดไปเป็นรหัสเอ็นซี (NC Code) โดยขั้นตอนนี้เรียกว่า (Post Processor) เมื่อได้โปรแกรมเอ็นซีที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมเอ็นซีจะถูกส่งโดยผ่านสายส่งข้อมูล เช่น RS-232 ไปยังเครื่องกัดห้าแกนเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งอธิบายขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้ดังนี้

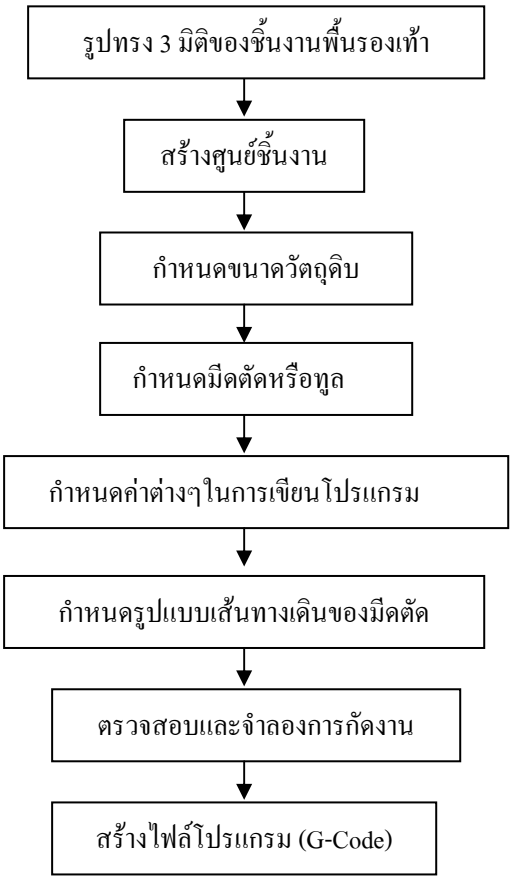
แผนภาพขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 35 แผนภาพขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด

5. การเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

นำรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานพื้นรองเท้าที่สมบูรณ์ ทำการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม โดยใช้โปรแกรม (Power Mill) ซึ่งในส่วนของโปรแกรมจะมีวิธีการจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Simulation) เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพพจน์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยตรวจสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดจากการขึ้นรูปชิ้นงาน ขั้นตอนนี้ได้นำเอาเครื่องตัวอย่างมาทดสอบในการทดสอบการเดินของมีดตัดเฉือนเพื่อทดสอบความถูกต้องของการเดินในลักษณะต่างๆ จากนั้นจะทำการแปลงทางเดินของเครื่องมือตัดไปเป็นรหัสเอ็นซี (NC Code) โดยขั้นตอนนี้เรียกว่า (Post Processor) เมื่อได้โปรแกรมเอ็นซีที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมเอ็นซีจะถูกส่งโดยผ่านสายส่งข้อมูล เช่น RS-232 ไปยังเครื่องกัดห้าแกนเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งอธิบายขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมดังนี้

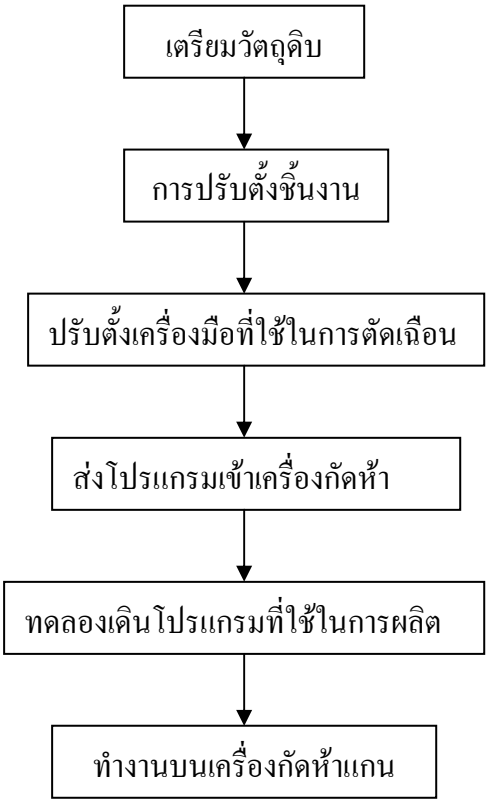


ภาพที่ 36 แผนภาพขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด

6. การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

หลังจากเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้ที่สมบูรณ์แล้ว จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน โดยการขึ้นรูปจะใช้วิธีการตามโปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ เครื่องกัดห้าแกนที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือ เครื่องกัดห้าแกนรุ่น MIKRON UCP 800 Duro ของสถาบันไทย-เยอรมัน ซึ่งอธิบายขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกนดังนี้

แผนภาพขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกนโดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

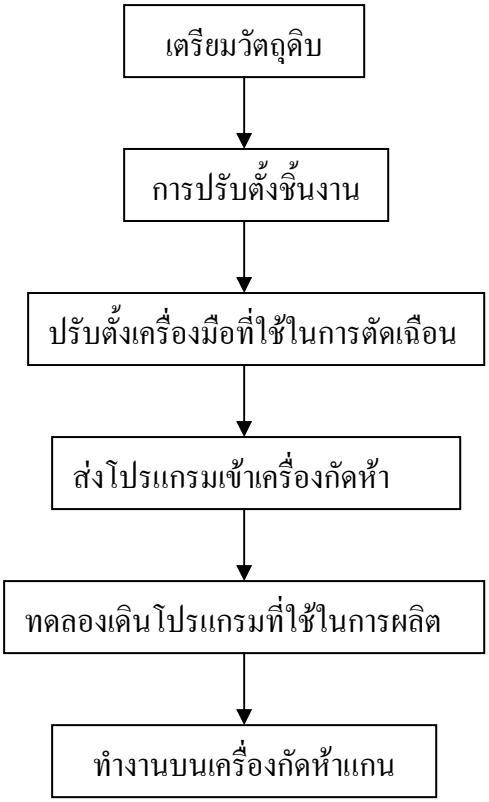


ภาพที่ 37 แผนภาพขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

7. การขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

หลังจากเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมที่สมบูรณ์แล้ว จากนั้นทำการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกน โดยการขึ้นรูปจะใช้วิธีการตามโปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ เครื่องกัดห้าแกนที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือ เครื่องกัดห้าแกนรุ่น CHERMLE UWF 902 H ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งอธิบายขั้นตอนในการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกนดังนี้

แผนภาพขั้นตอนการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกนซึ่งมีวิธีการต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 38 แผนภาพขั้นตอนการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

ผลและวิจารณ์

ผล

จากวิธีการทดลองที่ได้กล่าวถึงในอุปกรณ์และวิธีการมาแล้วนั้น เมื่อนำไปทำการทดลองแล้วให้ผลตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. ผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

2. ผลการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

3. ผลการออกแบบของชิ้นงานแบบไม้

4. ผลการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้

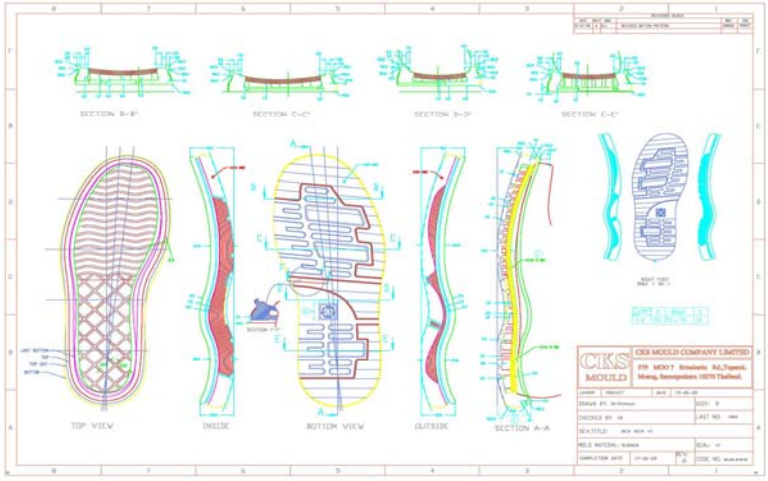
5. ผลการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

6. ผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

7. ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

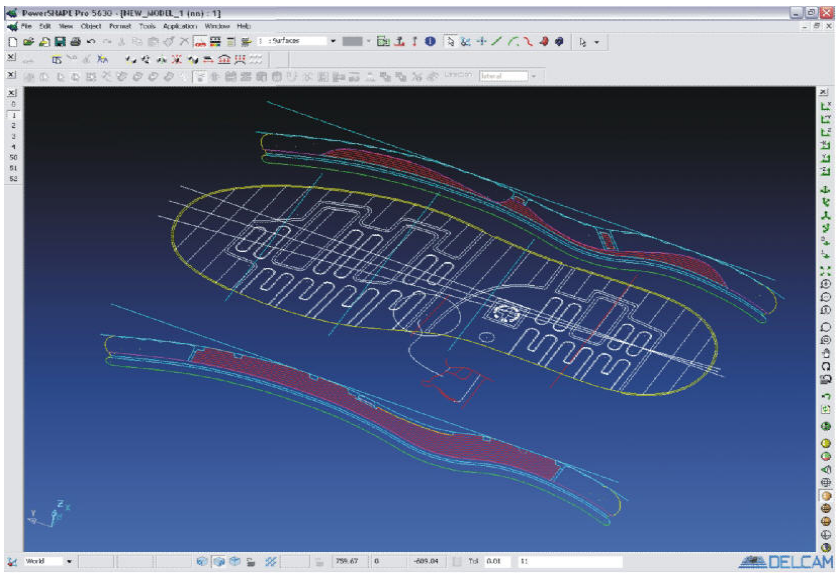
1. ผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

1.1 แบบชิ้นงาน 2 มิติของชิ้นงานรองเท้า โดยใช้โปรแกรม Power Shape ดังแสดงในภาพที่ 39



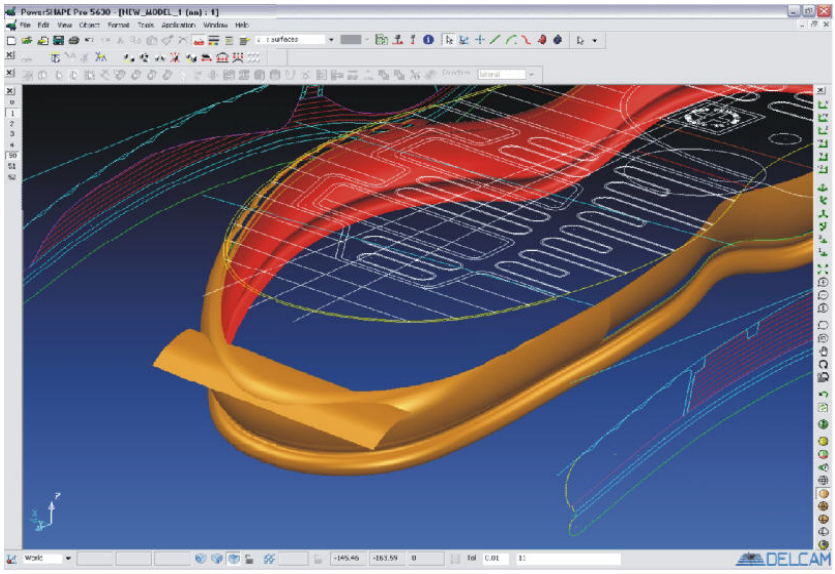
ภาพที่ 39 แบบชิ้นงาน 2 มิติของชิ้นงานรองเท้า

1.2 สร้างเส้นของชิ้นงานรองเท้าโดยใช้คำสั่งการสร้างเส้นในโปรแกรม Power Shape เพื่อใช้ในการสร้างพื้นผิวลำดับต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 40

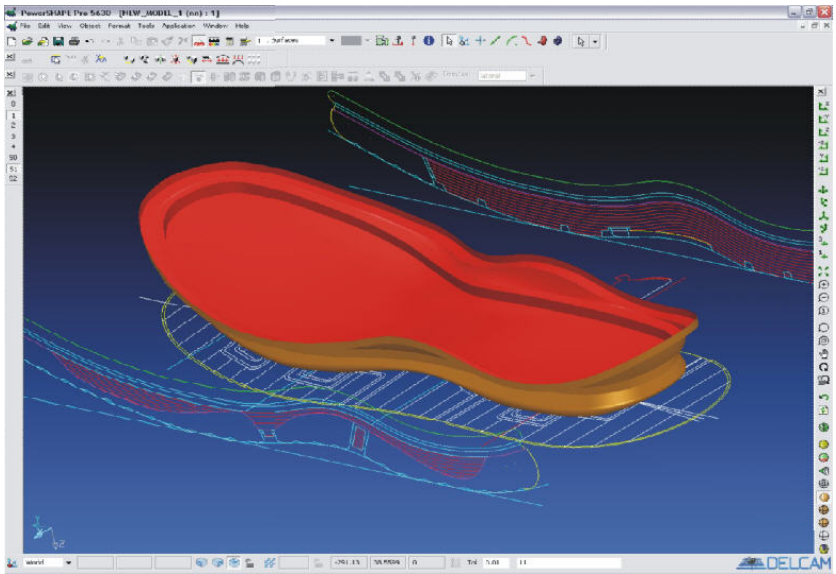


ภาพที่ 40 สร้างเส้นของชิ้นงานรองเท้า

1.3 สร้างพื้นผิวของชิ้นงานรองเท้า โดยใช้รูปแบบคำสั่งต่างๆ ในการสร้างพื้นผิวจากโปรแกรม Power Shape ดังแสดงในภาพที่ 41 และ ภาพที่ 42

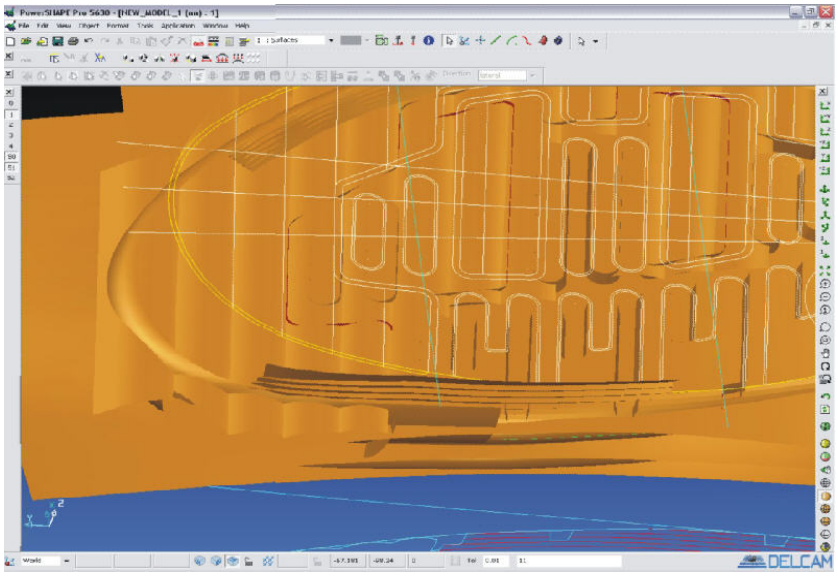


ภาพที่ 41 สร้างพื้นผิวของชิ้นงานรองเท้า



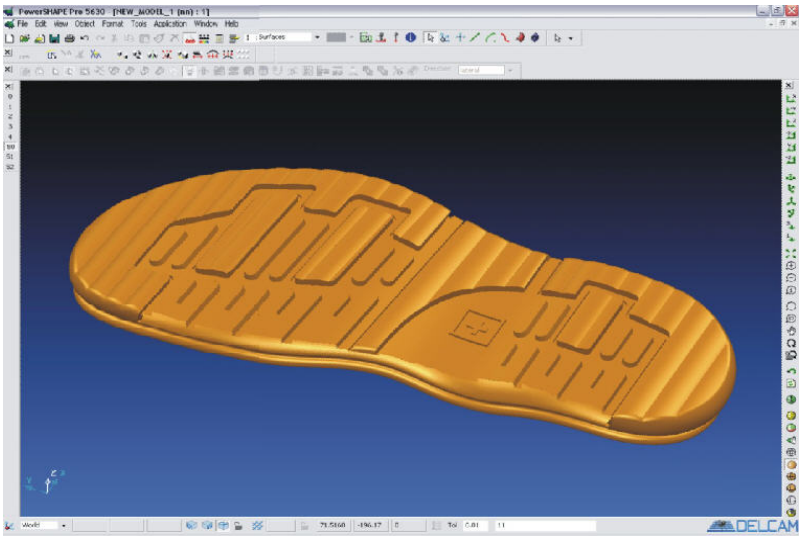
ภาพที่ 42 สร้างพื้นผิวของชิ้นงานรองเท้า

1.4 รวมและตัดพื้นผิวต่างๆ ของรองเท้าเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ชิ้นงานรองเท้ามีรูปทรงสมบูรณ์ตามขนาดของแบบชิ้นงาน 2 มิติที่กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 รวมและตัดพื้นผิวต่างๆ ของรองเท้า

1.5 ผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า ที่สมบูรณ์โดยใช้โปรแกรม (Power Shape) ดังภาพที่ 44



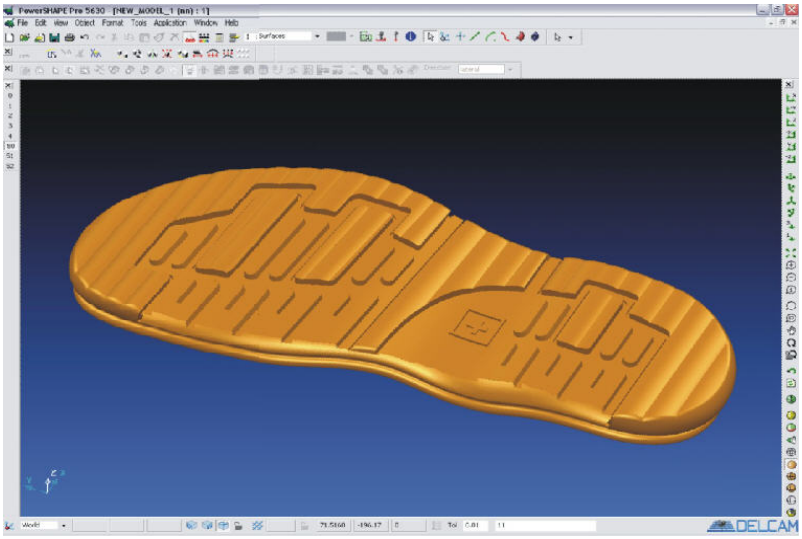
ภาพที่ 44 ผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

2. ผลการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

หลังจากการนำรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้าที่ได้จากกระบวนออกแบบแล้วจากนั้นมาผ่านกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์โดยจากวิธีการและขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วมีรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ

2.1 รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

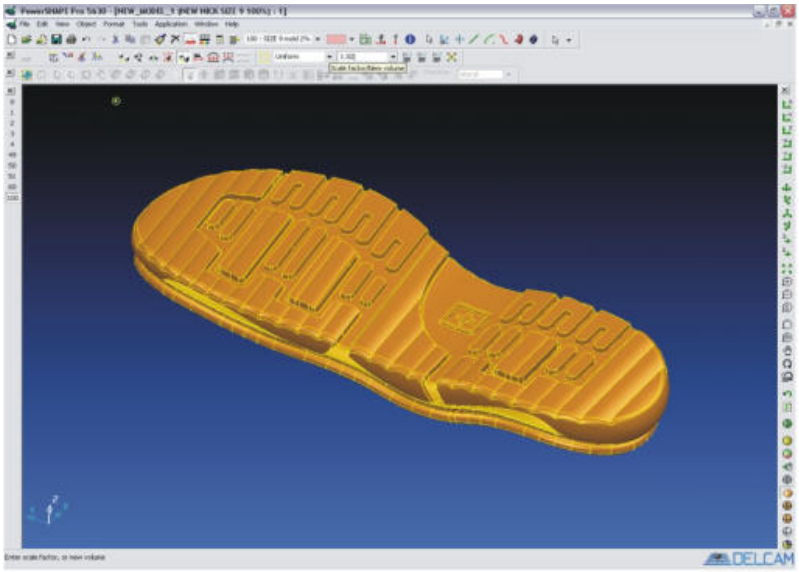
หลังจากได้รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้าในขั้นตอนการออกแบบแล้วนำ CAD Model ที่ได้เข้าสู่โปรแกรมในการออกแบบแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม Power Shape ดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45 รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

2.2 ตรวจสอบและวิเคราะห์ชิ้นงาน (Analysis CAD Model)

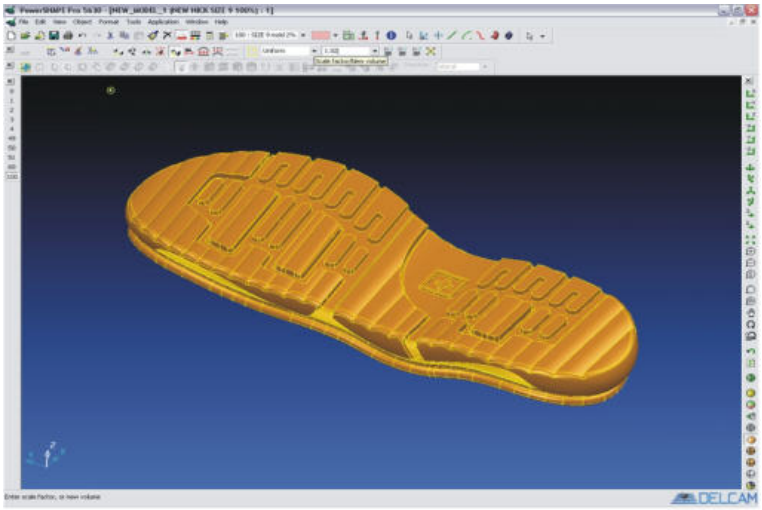
นำ CAD Model เข้าสู่โปรแกรมในการออกแบบแม่พิมพ์แล้ว ตรวจดูขนาดและลักษณะรูปร่างของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า ตรวจสอบความลาดเอียงของชิ้นงาน เพื่อออกแบบลักษณะการทำงานหรือกลไกต่างๆของแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ตรวจสอบและวิเคราะห์ชิ้นงาน (Analysis CAD Model)

2.3 กำหนดค่าหดตัวของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า (Shrinkage)

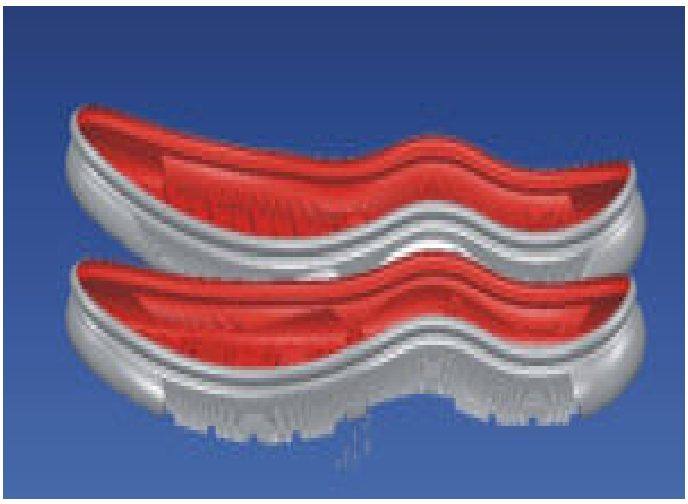
กำหนดค่าการหดตัวของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้าโดยใช้คำสั่ง (Scale) กำหนดขนาดของชิ้นงาน 2 % ในทิศทางเฉพาะแกน X, Y และ Z ที่ทิศทางเท่ากัน (Uniform) ดังแสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 47 กำหนดค่าหดตัวของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

2.4 จัดวางตำแหน่งของชิ้นงาน (Mold layout)

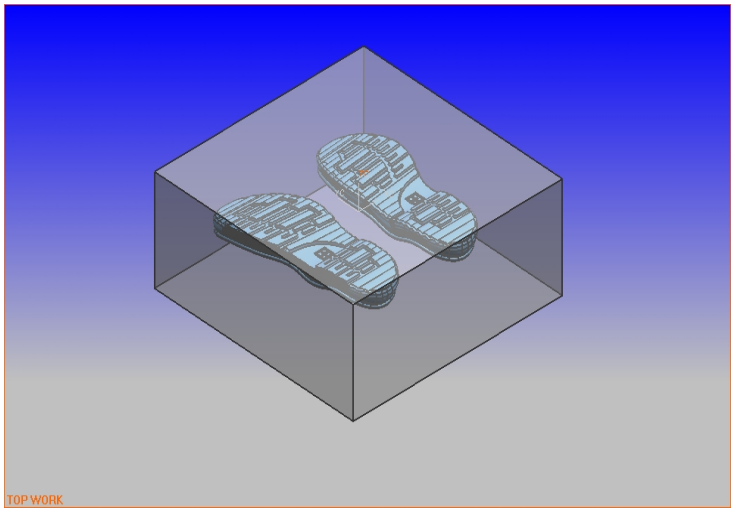
วางตำแหน่งคาวิตี้ของแม่พิมพ์โดยทำการวาง 2 คาวิตี้ ซึ่งจะต้องมีความสมดุลกันคือมีความสมดุลของแรงในแม่พิมพ์ นั่นคือตำแหน่งของคาวิตี้ต้องวางตัวในลักษณะของความสมมาตรกันในแนวแกนของแม่พิมพ์ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 48 จัดวางตำแหน่งของชิ้นงาน (Mold layout)

2.5 กำหนดชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยมสำหรับแบ่งชิ้นส่วนแม่พิมพ์

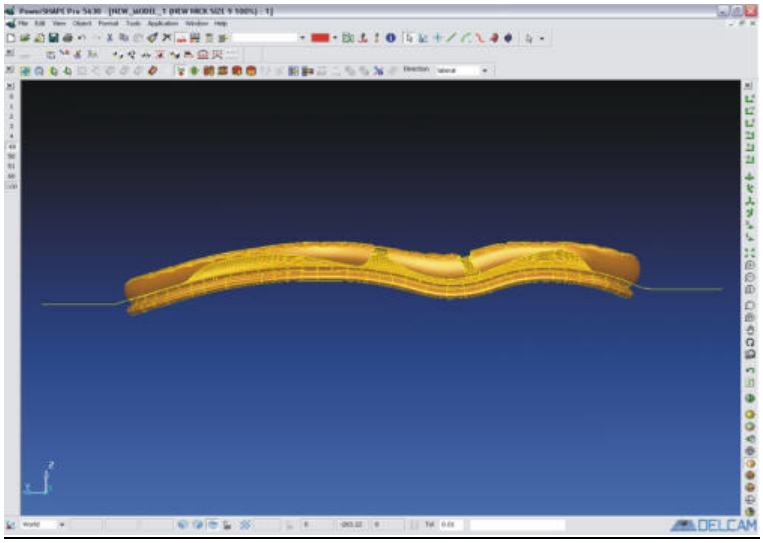
กำหนดชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยมสำหรับแบ่งชิ้นส่วนแม่พิมพ์ กำหนดขนาดให้โตกว่าขนาดของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า การสร้างกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อใช้ในการแบ่งชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 49



ภาพที่ 49 กำหนดชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยมสำหรับแบ่งชิ้นส่วนแม่พิมพ์

2.6 กำหนดเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Line)

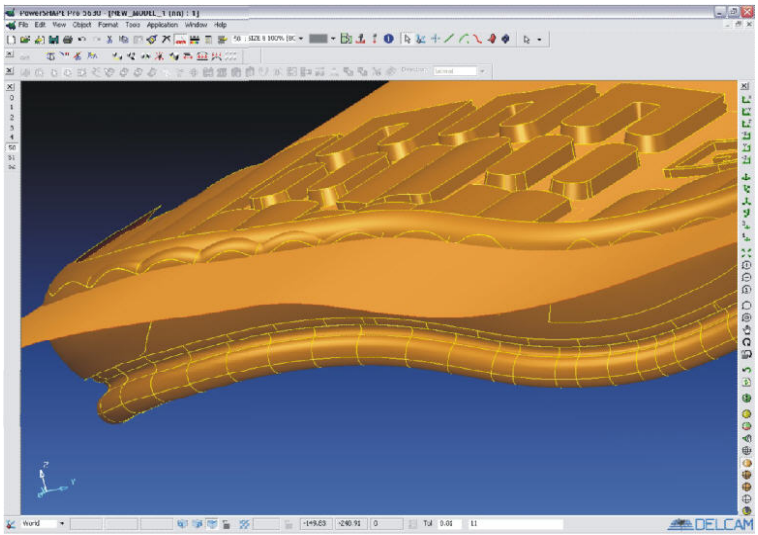
กำหนดเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์โดยการสร้างเส้นตามขอบของรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า โดยคำนึงถึงการปลดชิ้นงานเป็นหลัก ดังแสดงในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 กำหนดเส้นแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Line)

2.7 สร้างพื้นผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Surfaces)

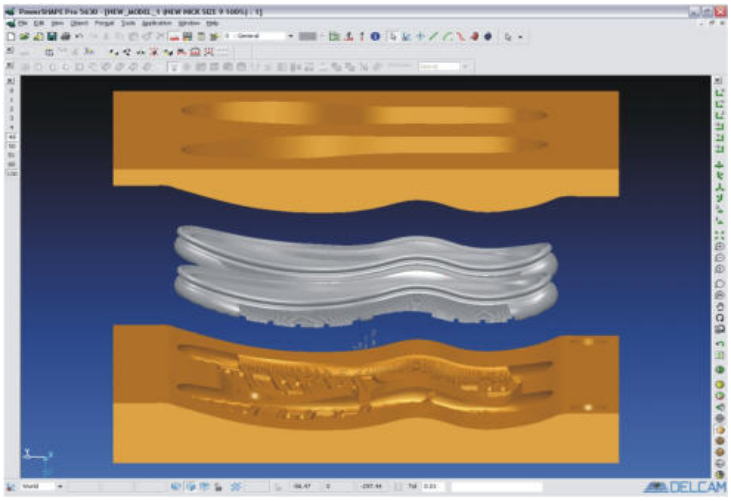
สร้างพื้นผิวแบ่งแม่พิมพ์รอบเส้นแบ่งแม่พิมพ์ เพื่อใช้สำหรับแบ่งชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ วิธีการสร้างพื้นผิวโดยการยืดเส้นขอบเป็นหลักและพื้นผิวที่ได้จะตั้งฉากกับแกนของทิศทางเปิดแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 สร้างพื้นผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ (Parting Surfaces)

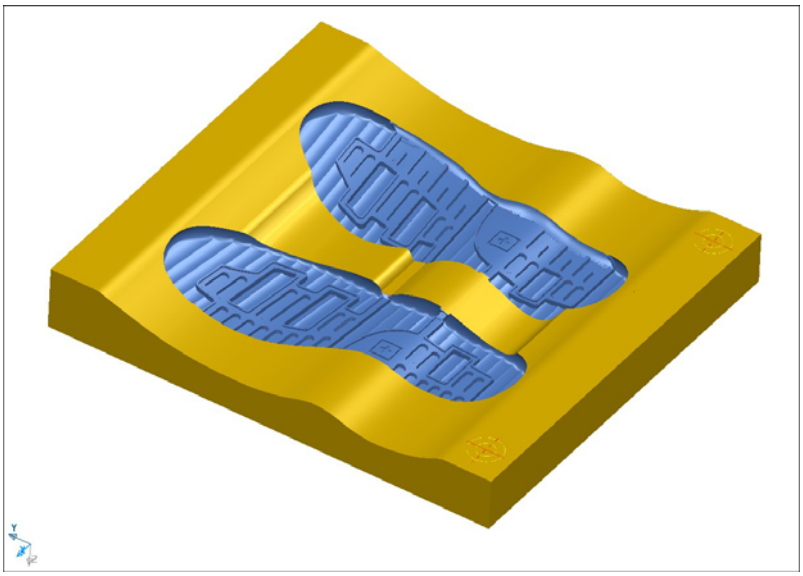
2.8 แยกส่วนคอร์และคาวิตี้ของแม่พิมพ์ (Split Insert Part)

ทำการสร้างพื้นผิวแบ่งแม่พิมพ์ (Parting Surfaces) นำพื้นผิวที่ได้ทำการแยกชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ ซึ่งจะได้ชิ้นส่วนด้านคอร์ชิ้นส่วนด้านคาวิตี้ของแม่พิมพ์และชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 52



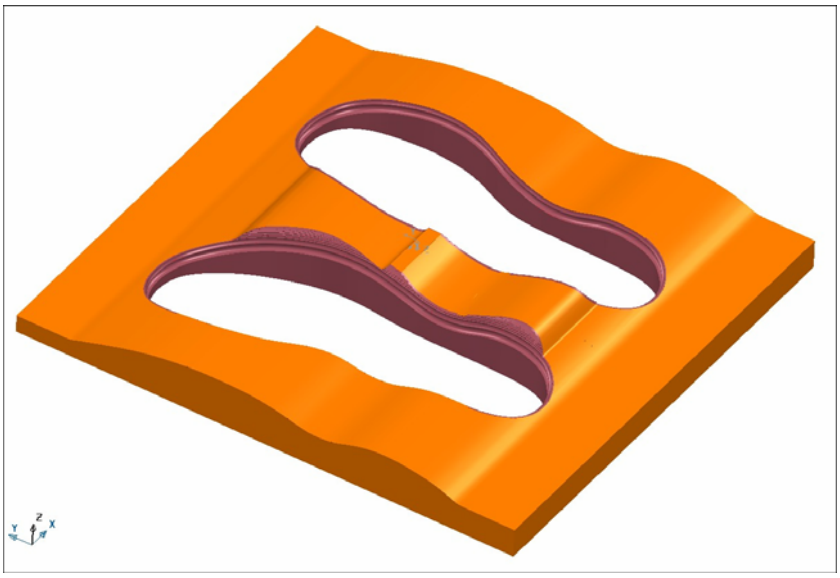
ภาพที่ 52 แยกส่วนคอร์และคาวิตี้ของแม่พิมพ์ (Split Insert Part)

ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้านคาวิตี้ที่ได้จากการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 53



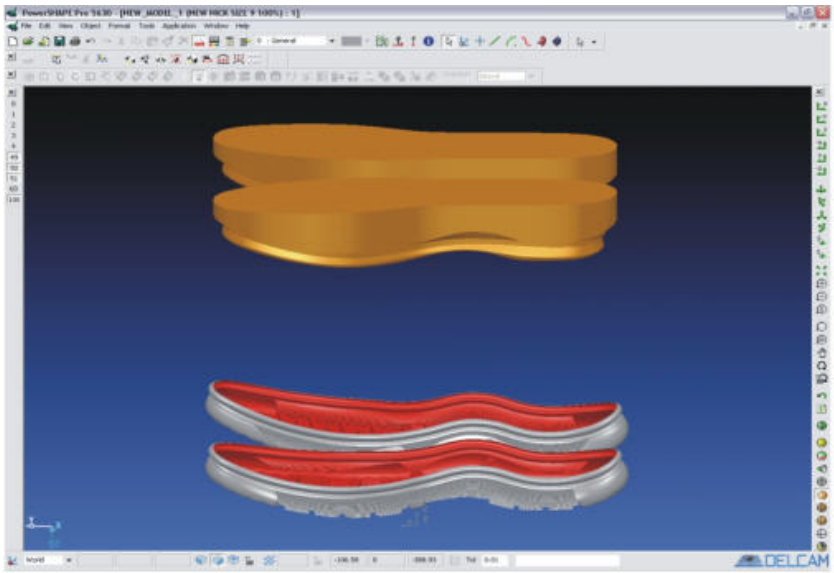
ภาพที่ 53 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้านคาวิตี้

ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้านคอร์ที่ได้จากการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 54



ภาพที่ 54 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ด้านคอร์

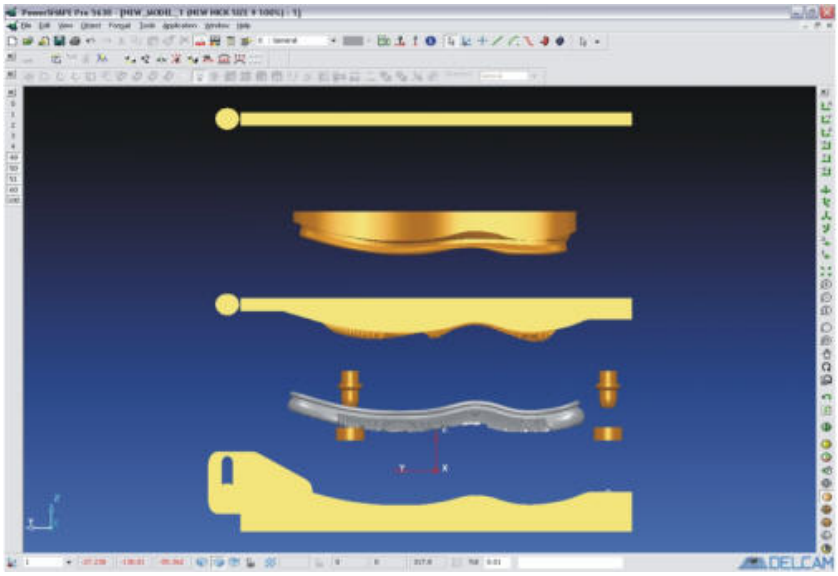
ชิ้นส่วนประกอบคาวิตี้ของแม่พิมพ์ที่ได้จากการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 55



ภาพที่ 55 ชิ้นส่วนประกอบคาวิตี้ของแม่พิมพ์

2.9 กำหนดแม่พิมพ์มาตรฐาน (Mould Base)

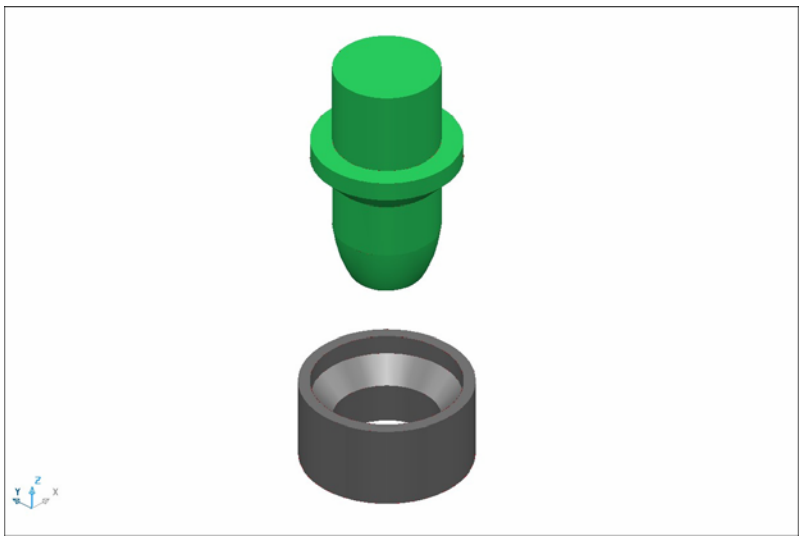
กำหนดแม่พิมพ์มาตรฐานโดยลักษณะในการเปิดแม่พิมพ์ออกเป็น 2 ส่วนคือจะมีแนวเส้นแบ่งผิวงานเป็นตัวกำหนด ด้านที่ยึดติดกับเครื่องอัดจะเรียกว่า (Top Plate) ส่วนด้านที่เคลื่อนเปิดและปิดแม่พิมพ์เรียกว่า (Bottom Plate) ดังแสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 56 กำหนดแม่พิมพ์มาตรฐาน (Mould Base)

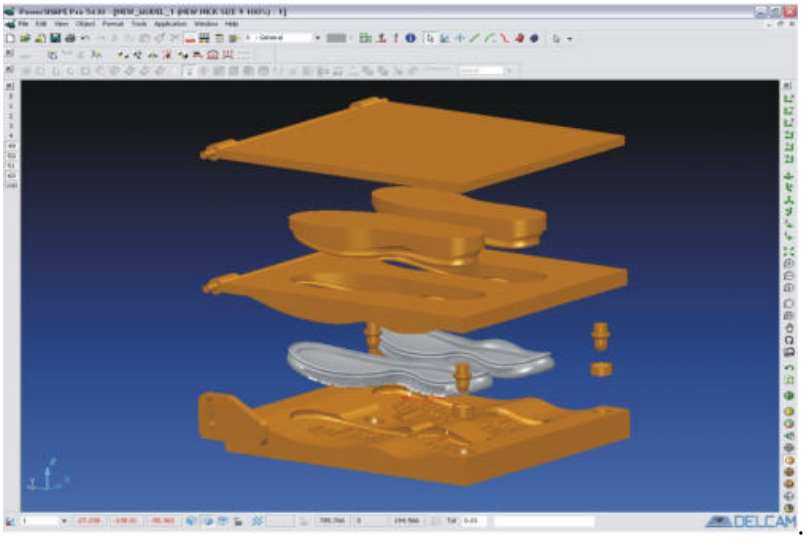
2.10 กำหนดชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standard Part)

กำหนดชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งชิ้นส่วนต่างๆประกอบด้วย ตัวนำเคลื่อนที่ (Guide Pin) และตัวนำด้านอยู่กับที่ (Guide Bush) การจับยึดของแม่พิพม์ (Screw) ชุดอุปกรณ์ในการเปิดแม่พิมพ์รวมถึงแท่งให้ความร้อน (Heater) ซึ่งในการออกแบบแม่พิมพ์บางครั้งจำเป็นต้องมีแท่งให้ความร้อนแต่บางครั้งอาจใช้แผ่นความร้อนจากเครื่องจักร รวมถึงชุดอุปกรณ์ในการเปิดปิดแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนตัวนำเคลื่อนที่และตัวนำด้านอยู่กับที่ ดังแสดงในภาพที่ 57



ภาพที่ 57 ชิ้นส่วนตัวนำเคลื่อนที่และตัวนำด้านอยู่กับที่

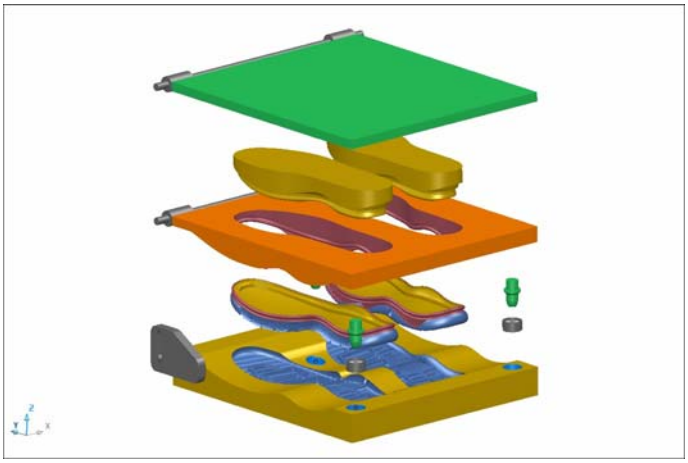
ชุดอุปกรณ์ในการเปิดปิดแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 58



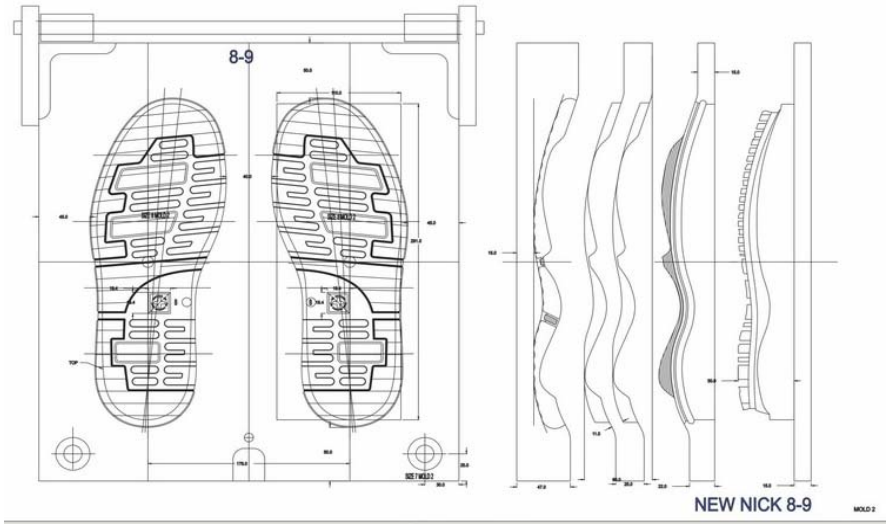
ภาพที่ 58 ชุดอุปกรณ์ในการเปิดปิดแม่พิมพ์

2.11 เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ (Drawing Mould)

หลังจากออกแบบแม่พิมพ์สมบูรณ์แล้วขั้นตอนสุดท้ายคือเขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ เพื่อนำไปอ้างอิงกับการผลิตชิ้นงาน จากนั้นใช้โปรแกรมในการเขียนแบบกำหนดรายละเอียดต่างๆ ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ พร้อมทั้งกำหนดขนาดและพิกัดความเผื่อตลอดจนผิวสำเร็จที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 59



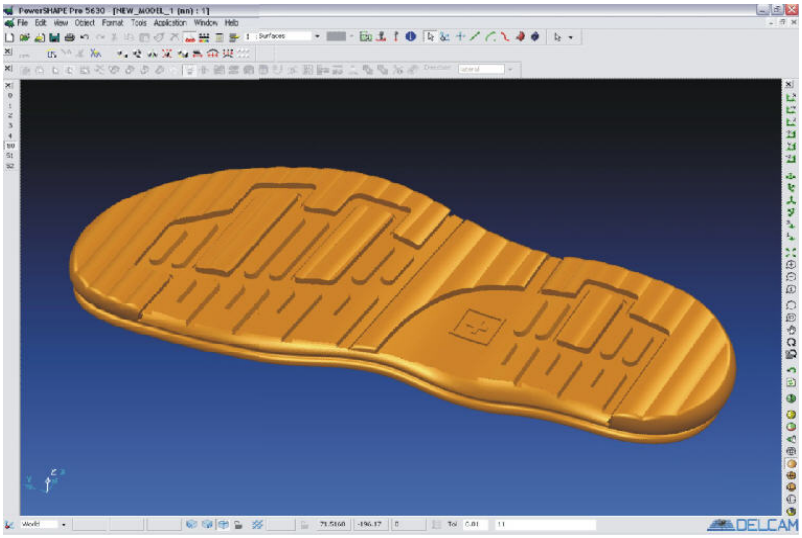
ภาพที่ 59 ผลการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า



ภาพที่ 60 เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

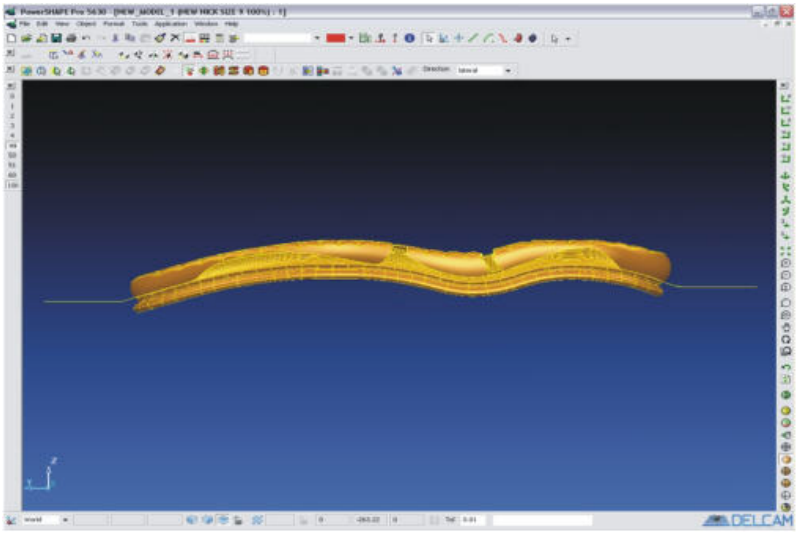
3. ผลการออกแบบชิ้นงานแบบไม้

3.1 นำรูปทรง3มิติของชิ้นงานรองเท้าที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบนำเข้าสู่โปรแกรม Power Shape ดังแสดงในภาพที่ 61



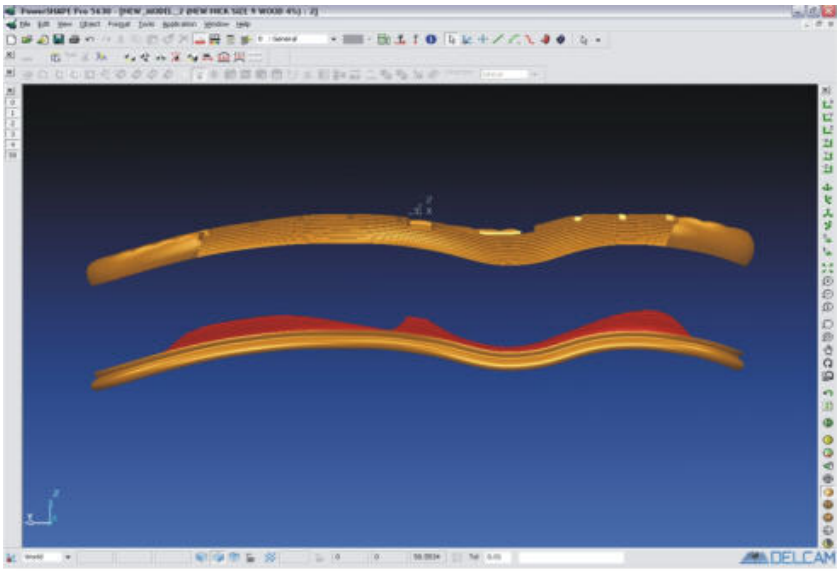
ภาพที่ 61 รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

3.2 กำหนดเส้นแบ่งส่วนของชิ้นงานเพื่อใช้ในการแบ่งพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 62



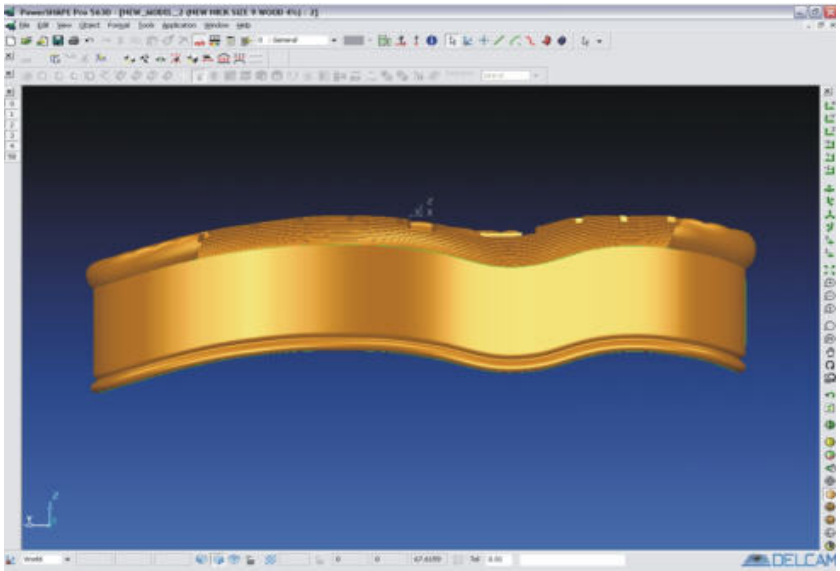
ภาพที่ 62 กำหนดเส้นแบ่งส่วนของชิ้นงาน

3.3 แบ่งพื้นผิวของชิ้นงานออกเป็นสองส่วน ดังแสดงในภาพที่ 63



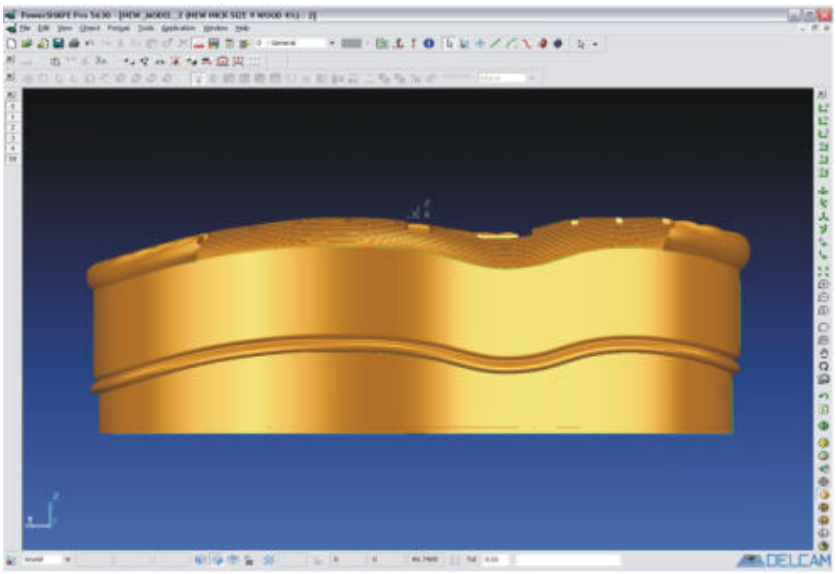
ภาพที่ 63 แบ่งพื้นผิวของชิ้นงานออกเป็นสองส่วน

3.4 รวมผิวของชิ้นงานในส่วนที่เป็นช่องว่างโดยใช้คำสั่งในโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ 64



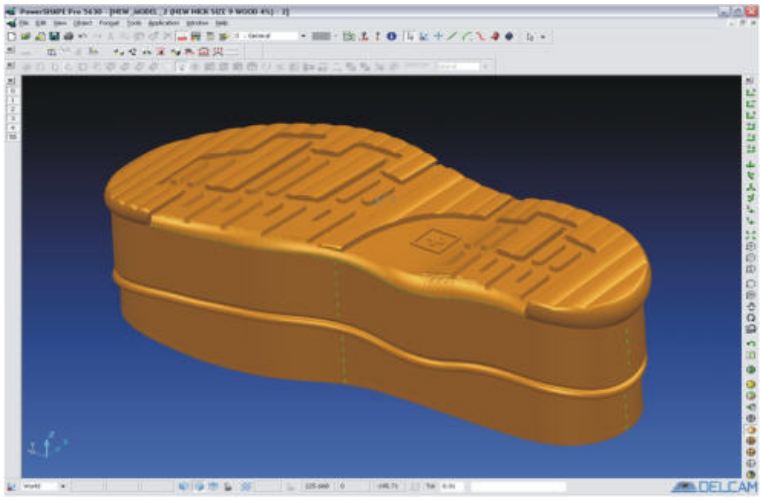
ภาพที่ 64 รวมผิวของชิ้นงานส่วนที่เป็นช่องว่าง

ยืดผิวของชิ้นงานด้านล่างเพื่อใช้ในการจับยึดในกระบวนการผลิต โดยใช้คำสั่งในโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ 65



ภาพที่ 65 ยืดผิวของชิ้นงานด้านล่าง

3.5 เปลี่ยนแบบจำลองของพื้นผิวเป็นแบบจำลองทรงตัน เพื่อให้ได้รูปทรงของชิ้นงานแบบไม่ที่สมบูรณ์ดังภาพที่ 66

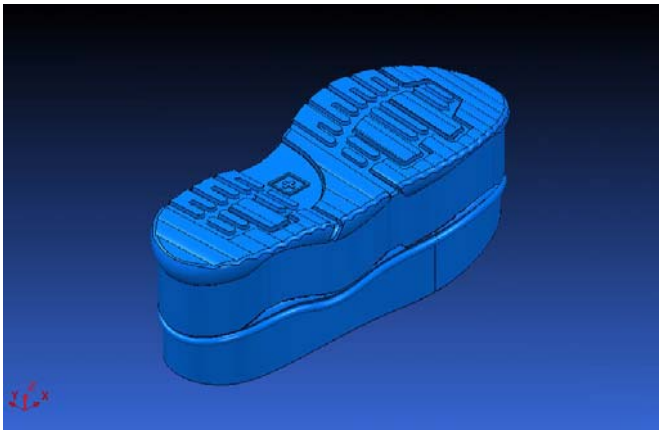


ภาพที่ 66 เปลี่ยนแบบจำลองของพื้นผิวเป็นแบบจำลองทรงตัน

4. ผลการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้

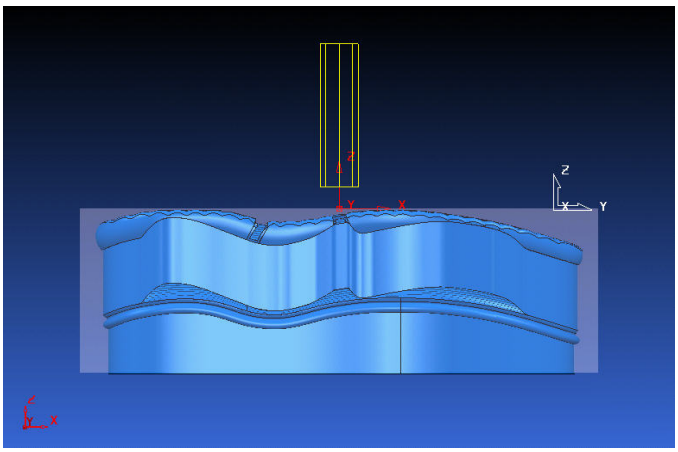
ผลการทำโปรแกรมในการเริ่มต้นเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด โดยการนำรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้ ที่ออกแบบเสร็จแล้วจากโปรแกรม (Power shape) เข้าสู่หมวดของการทำงานของโปรแกรม Power Mill

4.1 การทำงานของโปรแกรมขั้นแรกทำการ Import Models นำไฟล์รูปชิ้นงานเข้าสู่โปรแกรม (Power Mill) ดังแสดงภาพที่ 67



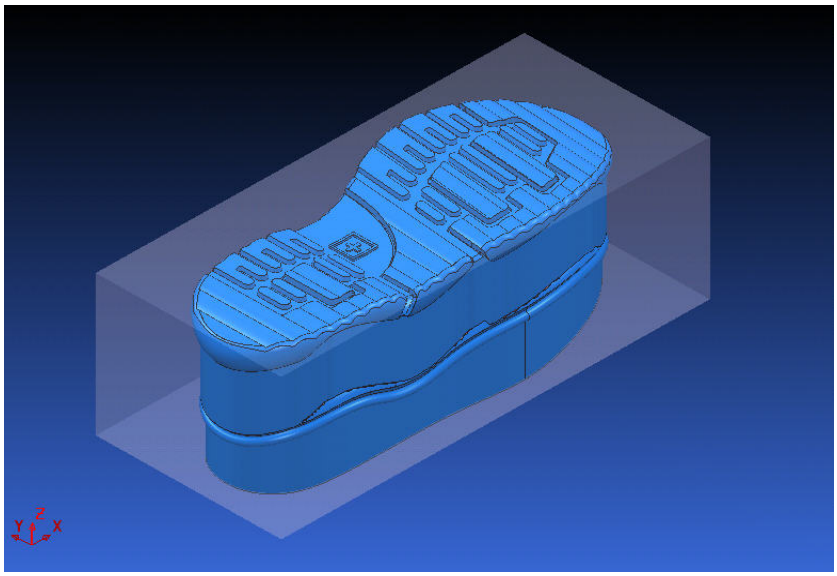
ภาพที่ 67 รูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้

4.2 สร้างศูนย์ชิ้นงาน (Create Work plane) เพื่อใช้เป็นแกนในการกำหนดการทำงาน



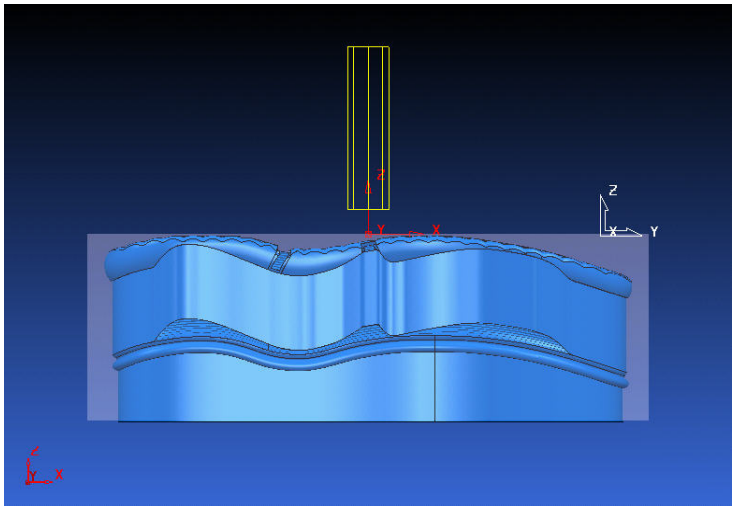
ภาพที่ 68 กำหนดมีดตัดหรือทูล (Cutting tools)

4.3 กำหนดขนาดวัตถุดิบ (Material Block Definition) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับกำหนดวัตถุดิบที่จะนำมาตัดเฉือน จากชิ้นงานทำการกำหนดแบบ Boundary Box ซึ่งจะเป็นการนำเอาค่า Max – Min ของตัวชิ้นงานมาสร้างกล่องสี่เหลี่ยมปกคลุมตัวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 69



ภาพที่ 69 กำหนดขนาดวัตถุดิบ (Material Block Definition)

4.4 กำหนดมีดตัดหรือทูล (Cutting Tools) เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด ซึ่งการกำหนดจะพิจารณาลักษณะของชิ้นงานแบบไม้ ดังแสดงในภาพที่ 70

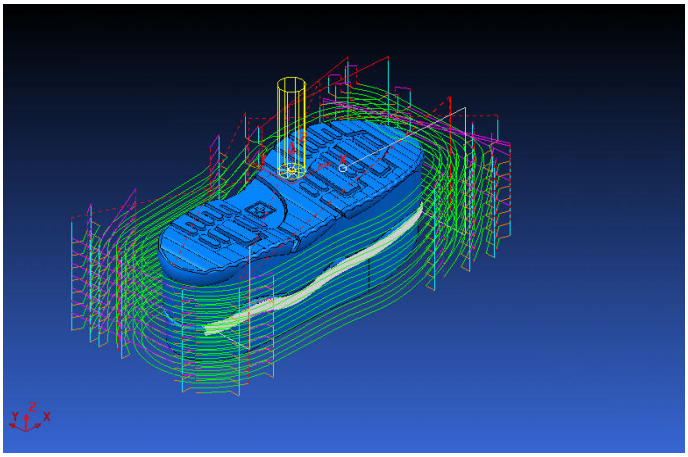


ภาพที่ 70 กำหนดมีดตัดหรือทูล (Cutting Tools)

4.5 กำหนดอัตราป้อนและความเร็วรอบของสปินเดิ้ล (Feed Rate and Spindle speed setting) กำหนดระยะความสูงที่ทูลเคลื่อนที่เร็วหรือเคลื่อนที่ด้วย G00 ไม่กินชิ้นงาน (Rapid Move Heights Setting)

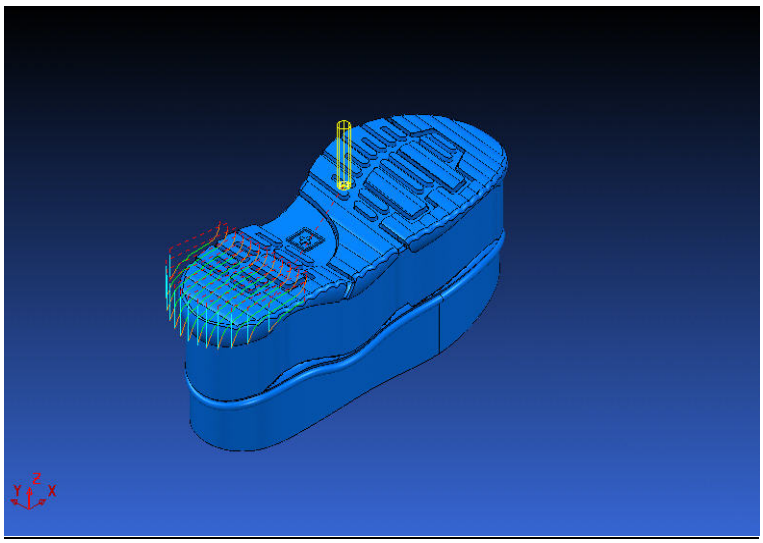
4.6 กำหนดรูปแบบของเส้นทางเดินมีดตัดหรือทูลพาธ (Create Tool Path Operation)

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 1 โดยการลดขนาดด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 71



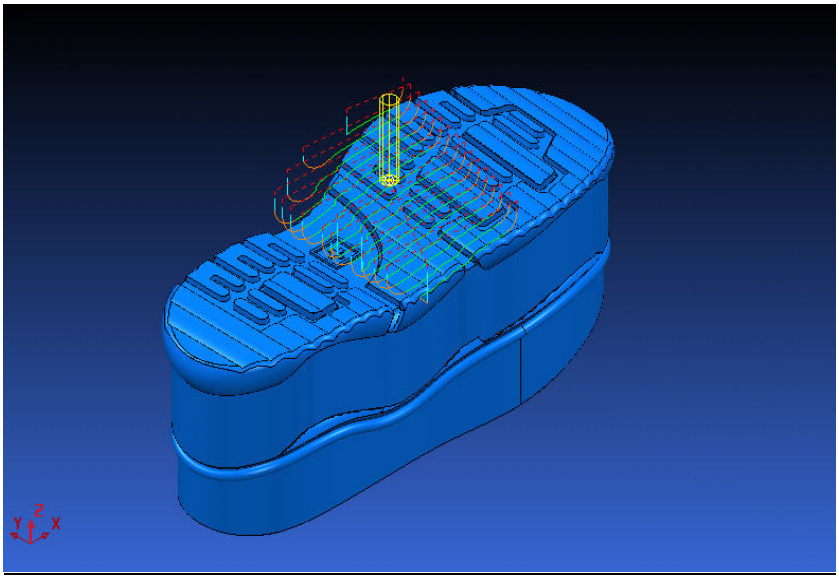
ภาพที่ 71 การเขียนเส้นทางเดินของมีดตัดโดยลดขนาดบริเวณด้านข้างของรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 2 โดยการลดขนาดของชิ้นงานด้านบนของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 72



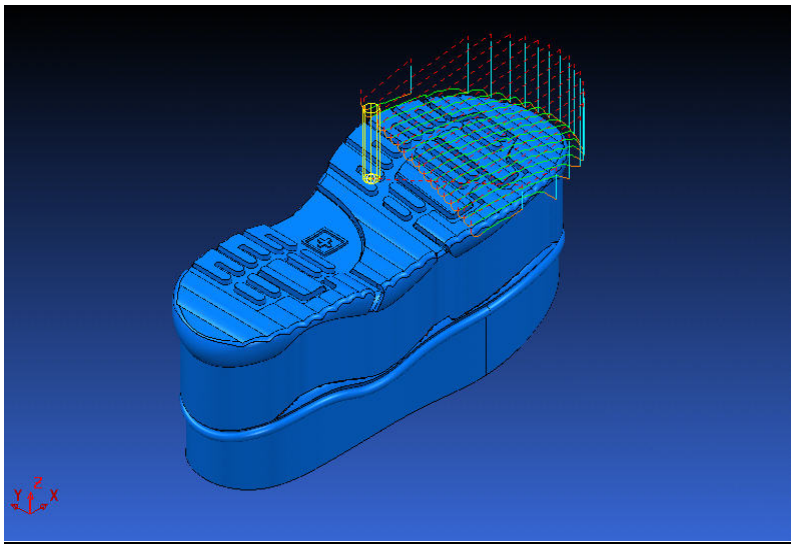
ภาพที่ 72 การเขียนเส้นทางเดินของมีดตัดบริเวณด้านบนของรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 3 โดยการลดขนาดของชิ้นงานด้านบนของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 73



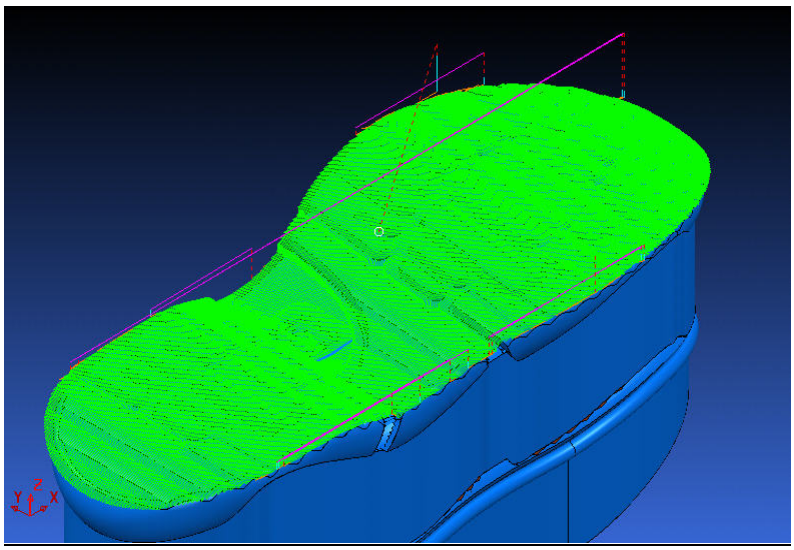
ภาพที่ 73 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 4 โดยการลดขนาดของชิ้นงานด้านบนของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 74

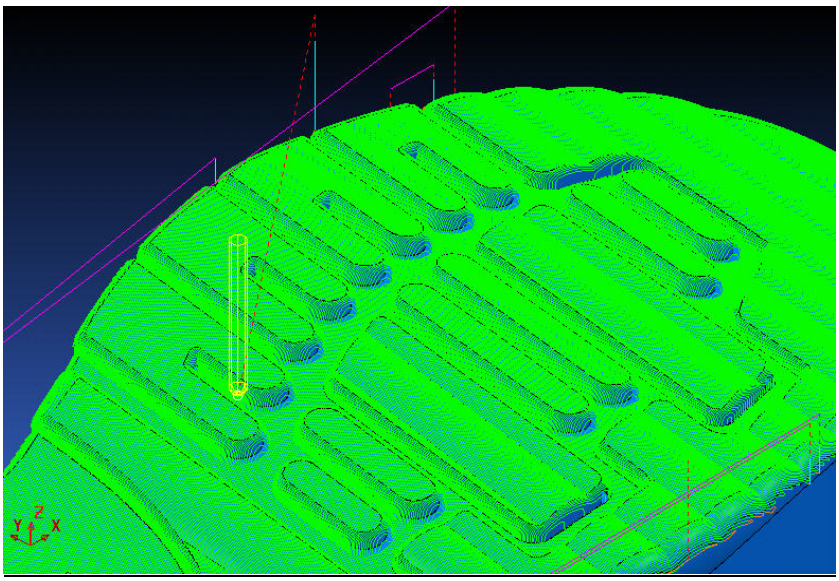


ภาพที่ 74 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 5 โดยการเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานด้านบนของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 75 และภาพที่ 76

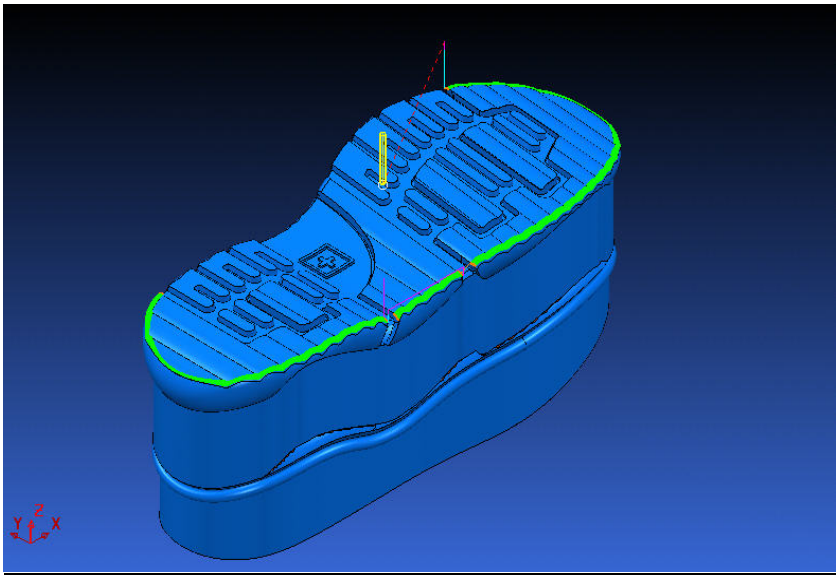


ภาพที่ 75 การเขียนเส้นทางเดินของมีดเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า



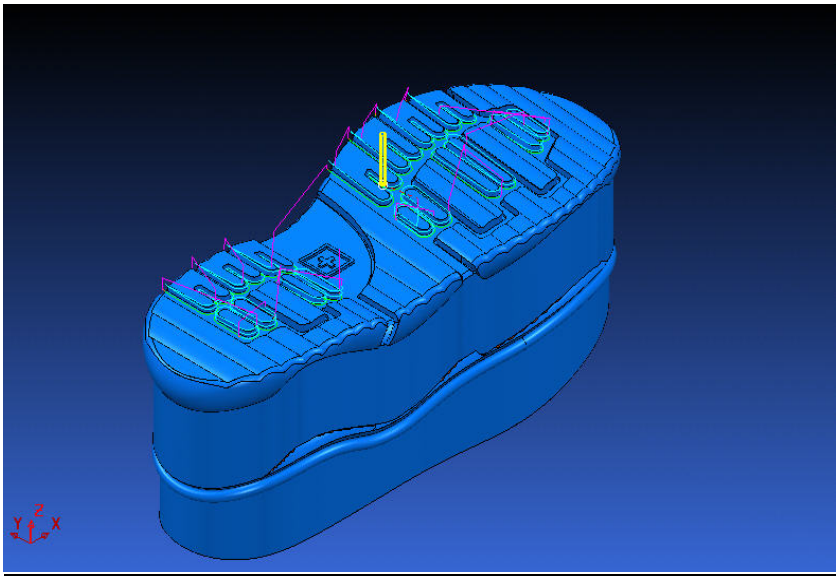
ภาพที่ 76 การเขียนเส้นทางเดินของมีดเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 6 โดยการเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานด้านบนขอบของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 77



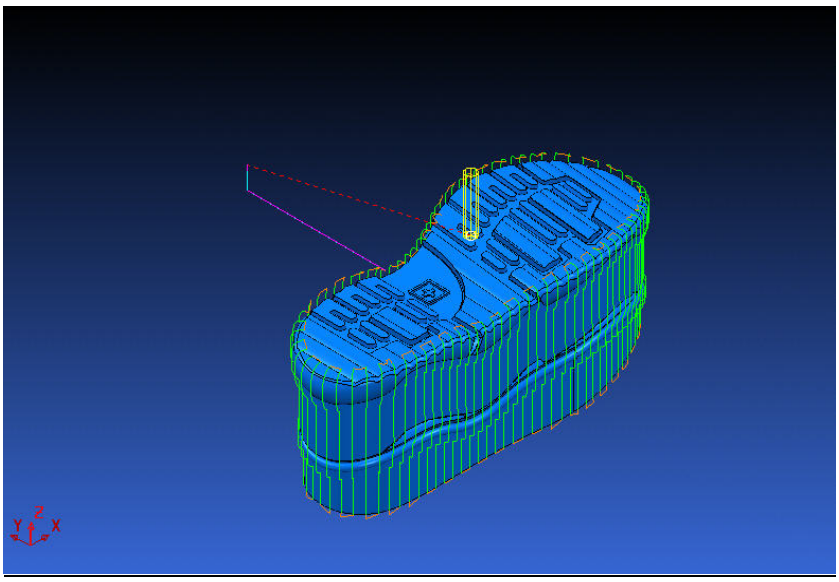
ภาพที่ 77 การเขียนเส้นทางเดินของมีดเก็บผิวละเอียดของชิ้นงานบริเวณขอบของชิ้นงาน

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 7 โดยการกัดบริเวณในร่องของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า เพื่อให้ได้ขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 78



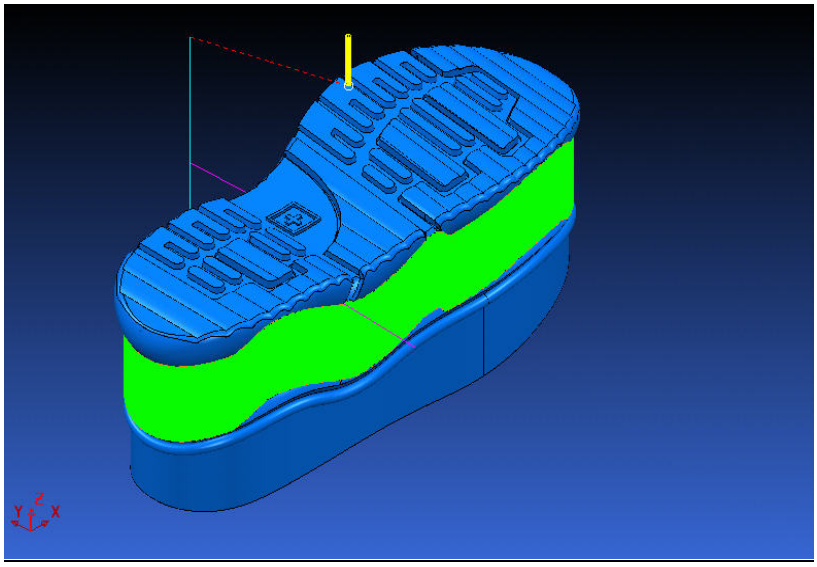
ภาพที่ 78 การกัดบริเวณในร่องของชิ้นงานด้านบนของรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 8 โดยการกัดลดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 79



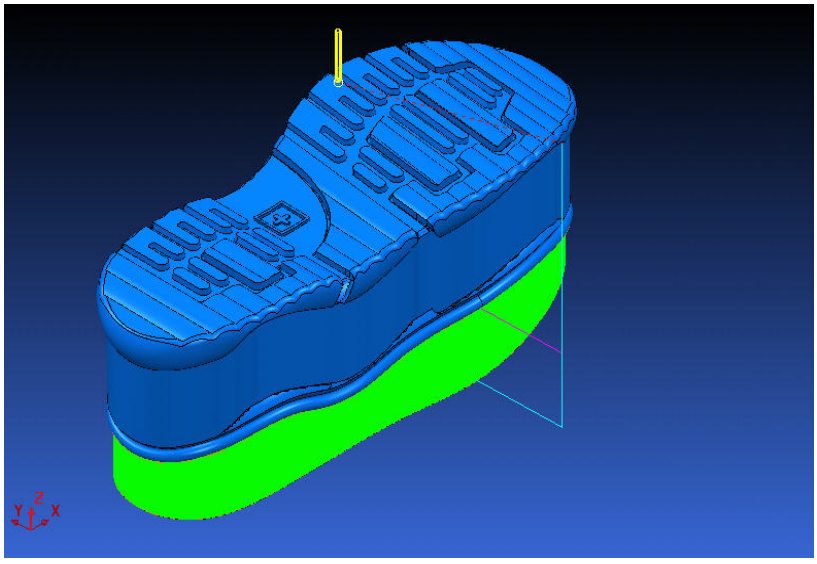
ภาพที่ 79 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 9 โดยการเก็บผิวบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 80



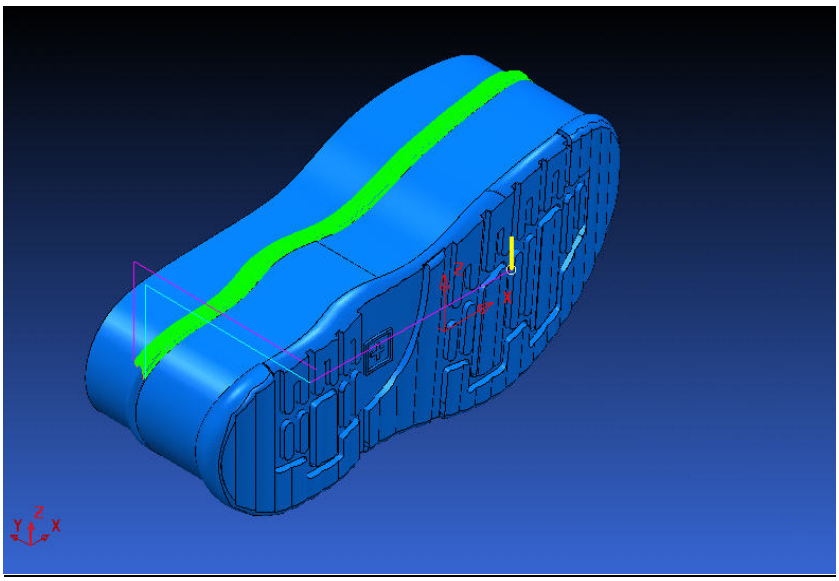
ภาพที่ 80 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 10 โดยการเก็บผิวบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 81



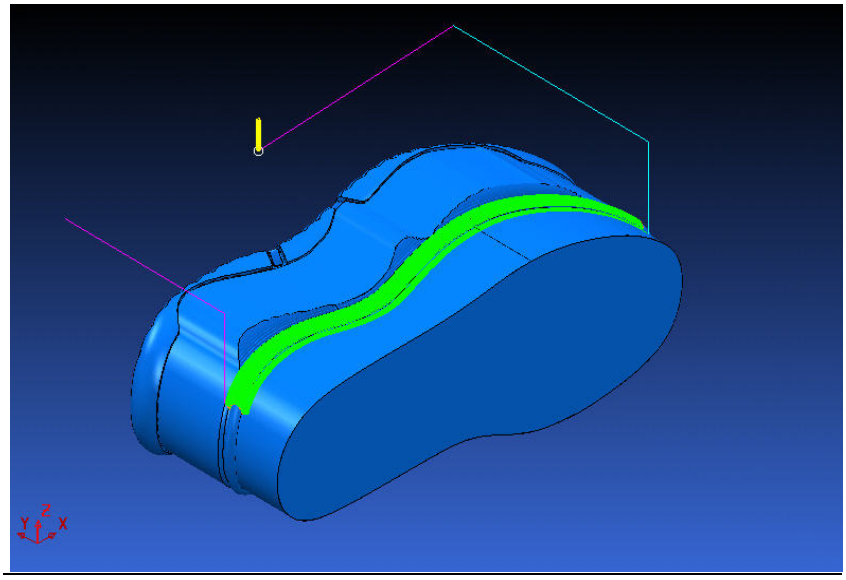
ภาพที่ 81 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 11 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 82



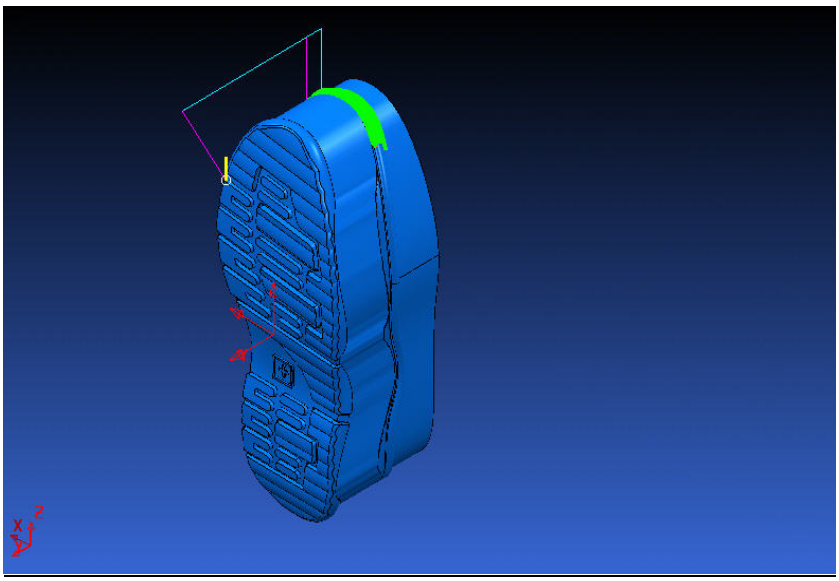
ภาพที่ 82 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 12 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 83



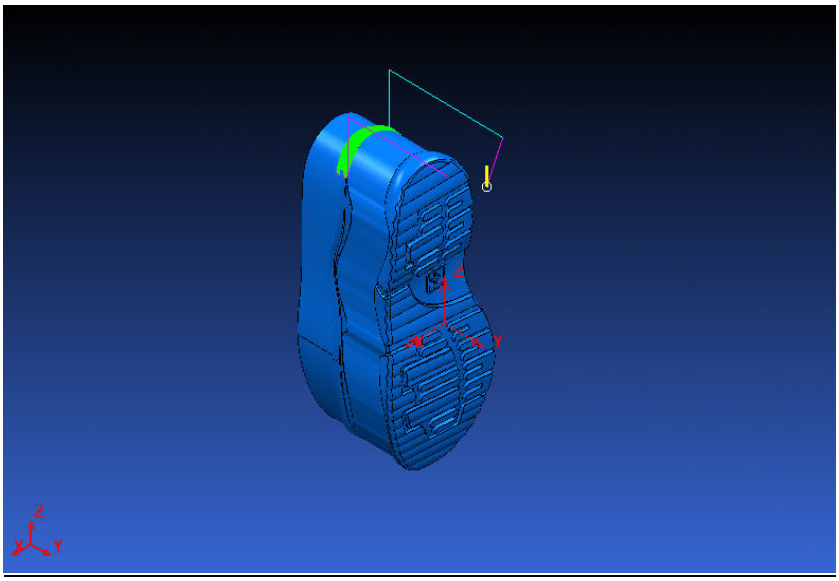
ภาพที่ 83 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 13 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบบนด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 84



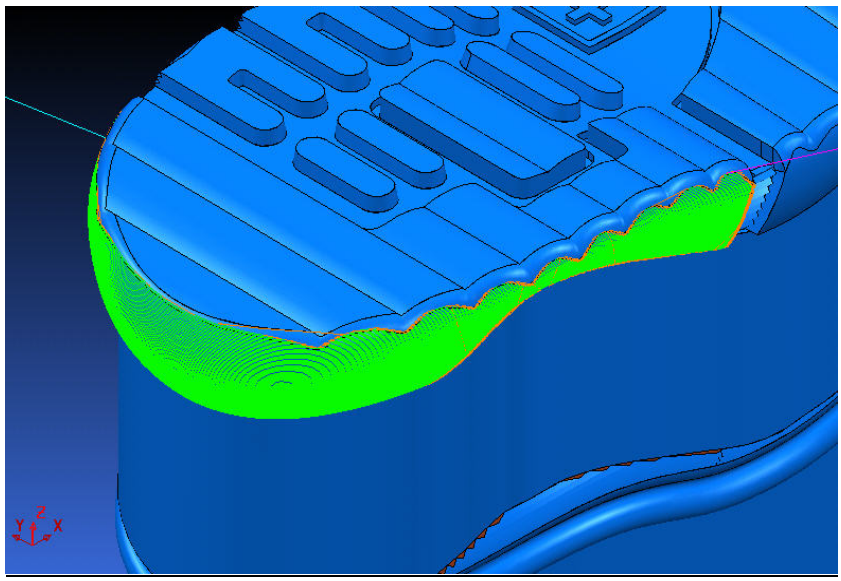
ภาพที่ 84 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบบนด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 14 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบล่างด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 85



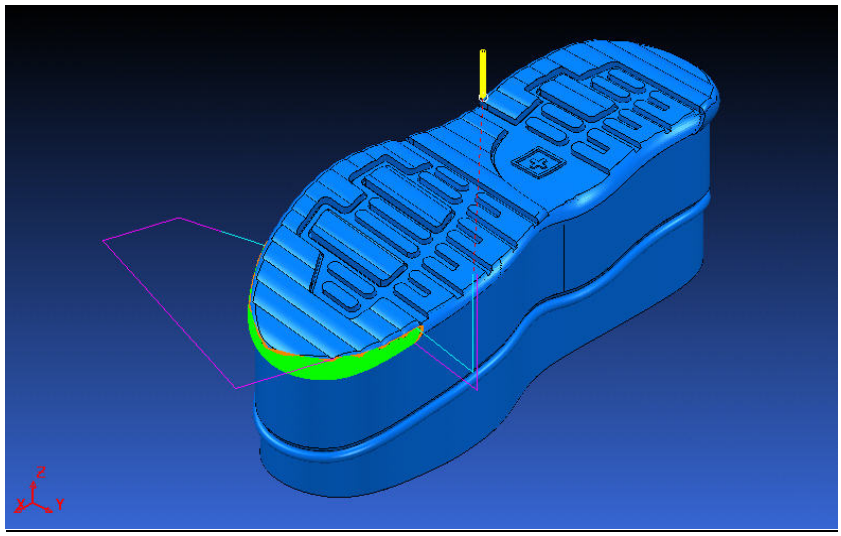
ภาพที่ 85 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบล่างด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 15 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบล่างด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 86



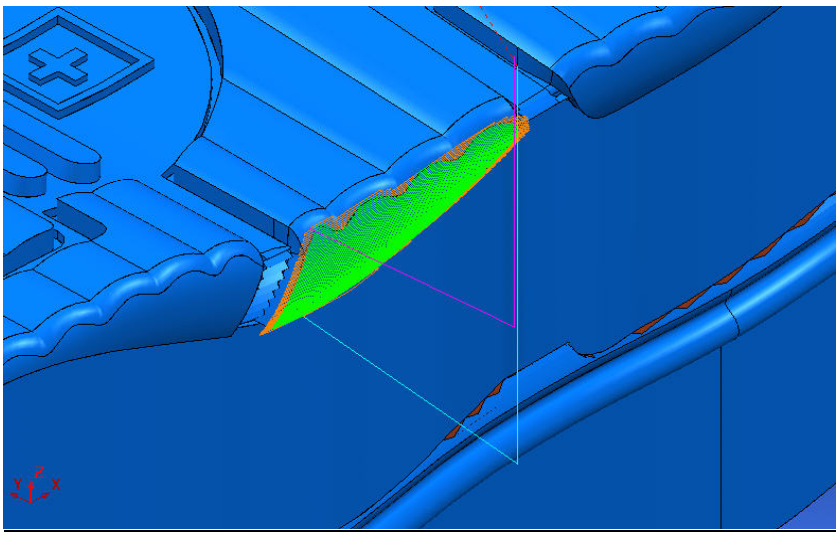
ภาพที่ 86 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบล่างด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 16 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบบนด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 87



ภาพที่ 87 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบบนด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

เส้นทางเดินของมีดตัดที่ 17 โดยการเก็บผิวบริเวณขอบด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า เพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์และขนาดตามแบบ ดังภาพที่ 88



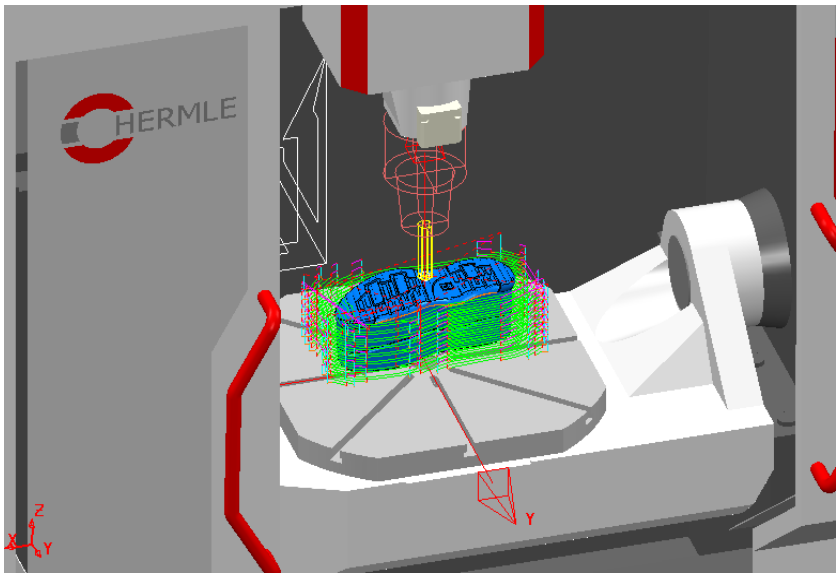
ภาพที่ 88 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบด้านข้างของชิ้นงานรองเท้า

4.7 การตรวจสอบและการจำลองการกัดงาน (Verification and Simulation)

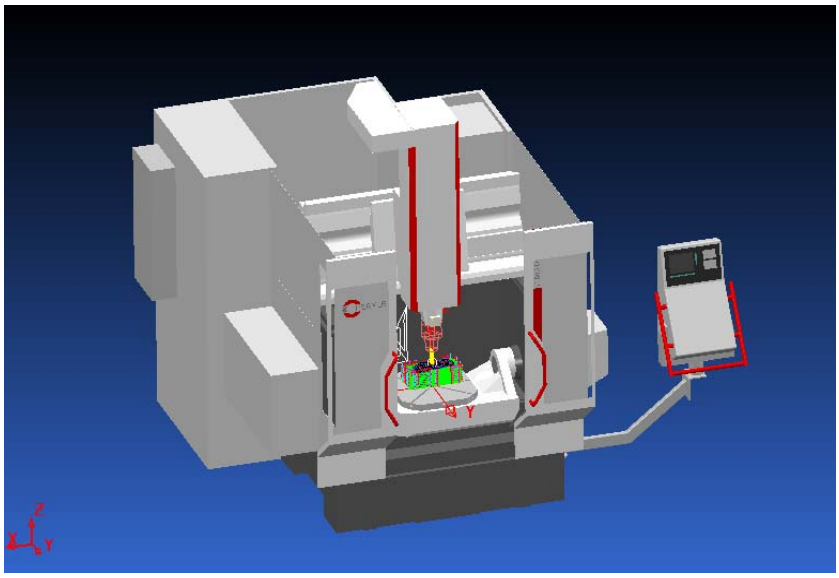
การตรวจสอบและการจำลองการกัดงาน (Verification and Simulation) การตรวจสอบป้องกันการชน (Collision Checking) มีการพัฒนาการกำหนดลักษณะมีดและวิธีการตรวจสอบป้องกันการชนใหม่ใน โปรแกรม Power Mill โดยมีทางเลือกในการจำลองทางเดินของหัวจับมีดกัดได้ และระบุลักษณะข้อแตกต่างของมีดและด้ามจับ Power Mill ยอมให้สร้างขอบเขตเพื่อป้องกันการชนคลอบคลุมพื้นที่เฉพาะของโมเดลงาน

การจำลองการกัดงาน (Simulation) โปรแกรม Power Mill นำเอาโมเดลของเครื่องจักรมาร่วมจำลองการกัดงานภายในโปรแกรมด้วย ซึ่งสามารถเลือกที่จะสร้างโมเดลของเครื่องรุ่นที่ตนเองใช้เก็บไว้เพิ่มเติมได้ การจำลองการกัดงานในลักษณะนี้จะทำให้เห็นเหตุการณ์จริงทั้งหมดที่จะเกิดขึ้น เมื่อทำการกัดงานจริงและสามารถเปรียบเทียบวิธีการกัดงานแบบต่างๆ เพื่อเลือกก่อนการกัดงานจริง สิ่งนี้จะเป็นประโยชน์ที่สำคัญสำหรับผู้ใช้เครื่อง 5 แกนในภาพจำลองจะชี้ให้เห็นหากจะเกิดการกัดงานเกินพิกัดของเครื่อง หรือหากจะมีการชนเกิดขึ้น การจำลองการกัดงานจะช่วยทำให้แน่ใจว่า ได้ผลสูงสุดจากเครื่องจักร

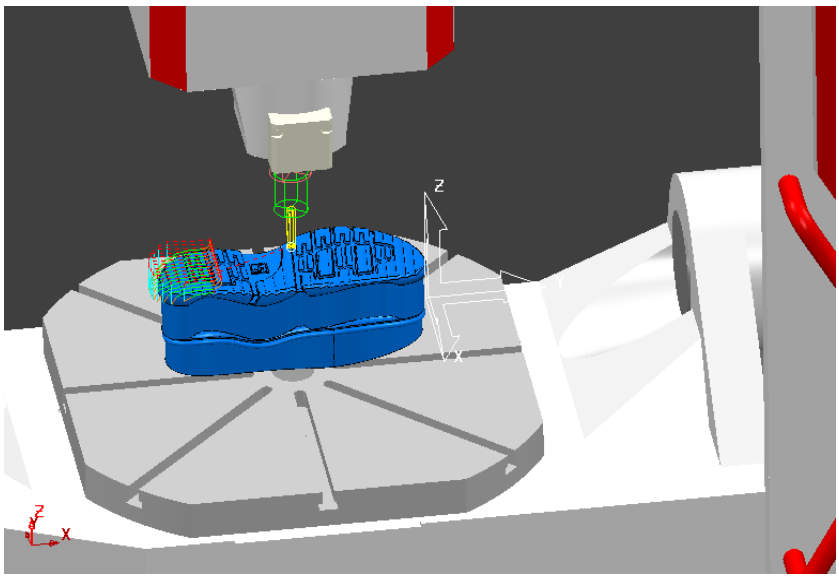
การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation ของโปรแกรม Power Mill จะนำไฟล์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินมีดตัดด้วยโปรแกรม Power mill ไป Post ลงในเครื่องกัด Damo ที่ต้องการRUN โปรแกรม โดยใช้มีดตัดเฉือนตามขนาดต่างๆ ที่ได้คำนวณทางเดินของมีดตัดเพื่อดูทิศทางของหัวกัดในหน้าเครื่องกัด ดังภาพที่ 89, 90, 91, 92, 93, 94, และ 95



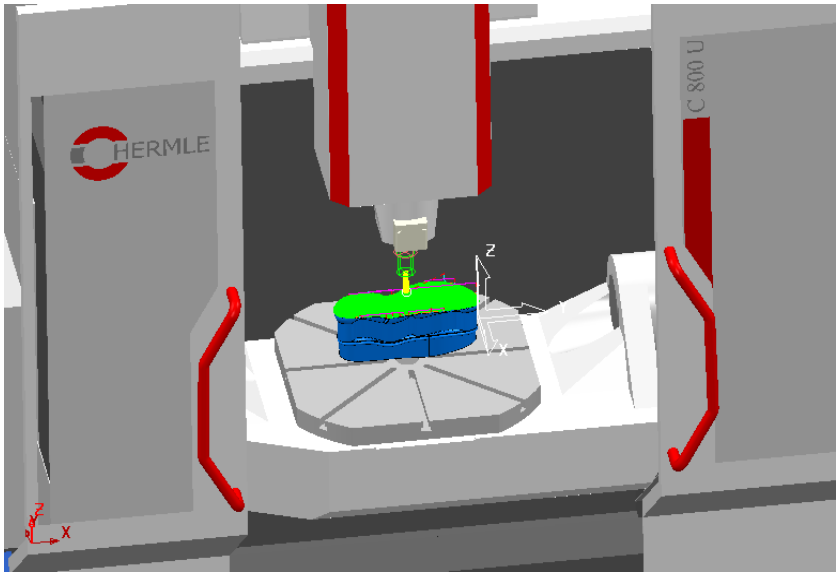
ภาพที่ 89 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation



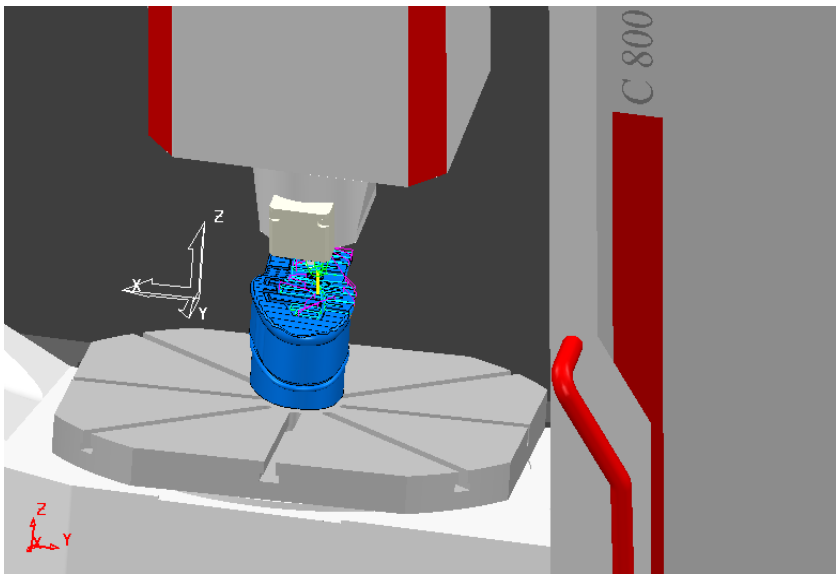
ภาพที่ 90 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation



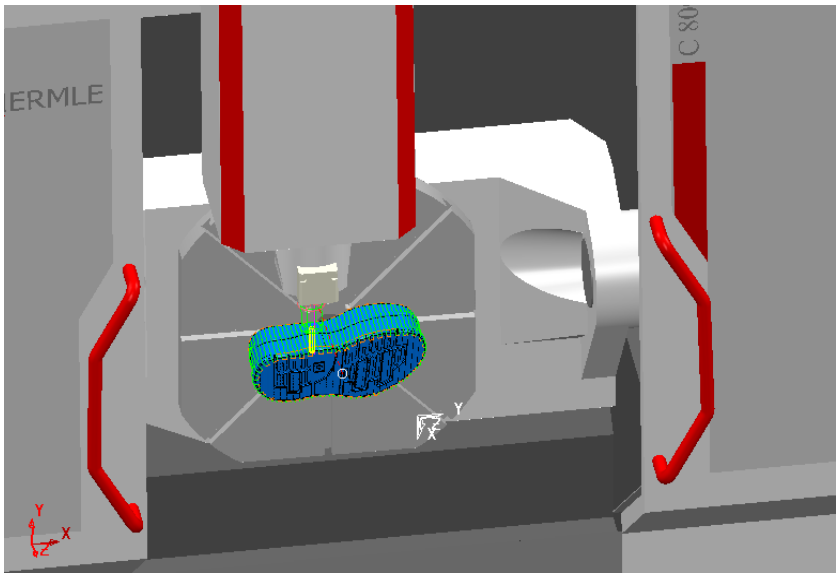
ภาพที่ 91 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation



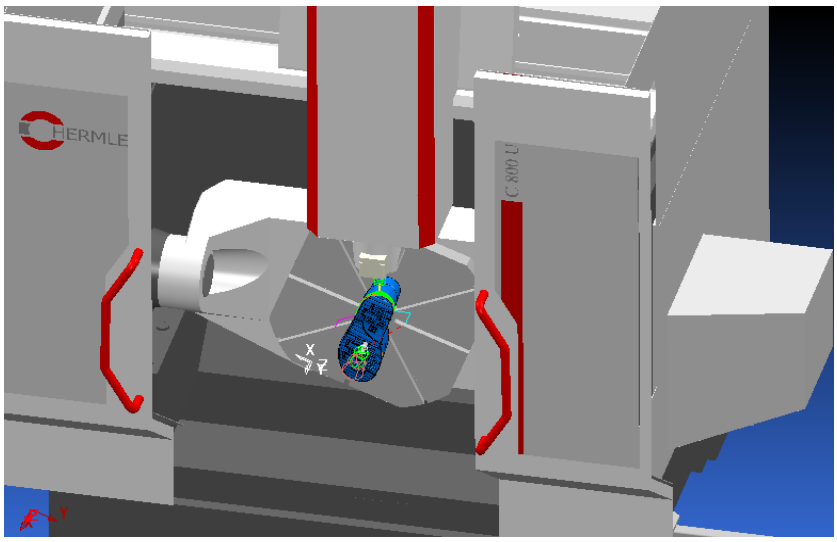
ภาพที่ 92 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation



ภาพที่ 93 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation



ภาพที่ 94 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation



ภาพที่ 95 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation

4.8 สร้างไฟล์ G-Code หรือ NC โปรแกรม (Create NC Program)

ตารางที่ 1 แสดงโปรแกรมไฟล์ G-Code

ชื่อชิ้นงาน : แบบไม้ (Wood Model)		หมายเลขแบบ : PC Milling -01
หมายเลขโปรแกรม : A-01	แผ่นที่ : 1	จำนวน : 1 แผ่น

1 BEGIN PGM ROUGH 20 MM

2 BLK FORM 0.1 Z X-200. Y-170. Z-60.

3 BLK FORM 0.2 X200. Y170.001 Z1.

4 L M129

5 CYCL DEF 19.0 WORKING PLANE

6 CYCL DEF 19.1 A+0.0 C+0.0

7 CYCL DEF 19.0 WORKING PLANE

8 CYCL DEF 19.1

9 CYCL DEF 7.0 DATUM SHIFT

10 CYCL DEF 7.1 X0.0

11 CYCL DEF 7.2 Y0.0

12 CYCL DEF 7.3 Z0.013 ;

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อชิ้นงาน : แบบไม้ (Wood Model)		หมายเลขแบบ : PC Milling -01
หมายเลขโปรแกรม : A-01	แผ่นที่ : 1	จำนวน : 1 แผ่น

14 LBL 170

15 LBL 0

25 ; TOOLPATH : ROUGH 20

27 L M128

28 M03 M8

29 L X0.0 Y0.001 Z11. A0.0 C0.0 FQ3

30 L X-112.366 Y-65.527 A13.989 C68.176

31 L Z-19.91

32 L X-113.488 Y-65.078 Z-24.762 FQ1

33 L X-113.48 Y-65.018 Z-24.758 A13.99 C68.168 FQ2

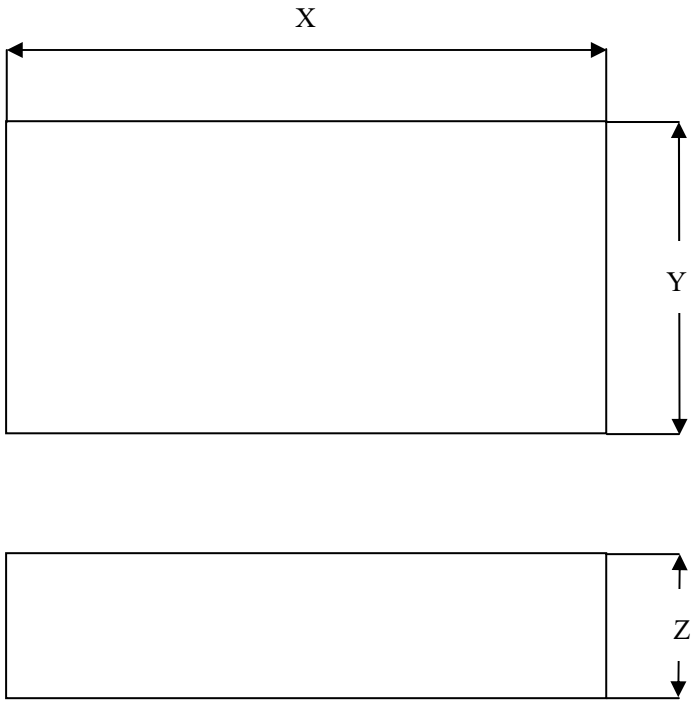
34 L X-112.27 Y-65.009 Z-19.751 FQ3

35 L X-119.489 Y-124.34 Z-17.899 A15.124 C110.971

จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้ ซึ่งสรุปผลการกำหนดขนาดชิ้นงานดิบโดยเขียนแบบขนาดต่างๆลงในตารางแสดงการกำหนดชิ้นงานดิบ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงการกำหนดชิ้นงานดิบ (Raw material)

แบบวัตถุดิบ	**หมายเลขแบบ : A20-01**	**เครื่องจักร : CNC Milling**
วัสดุ : Wood	**ชื่องาน : Wood Model**	**เตรียมชิ้นงาน : Nopporn B.**

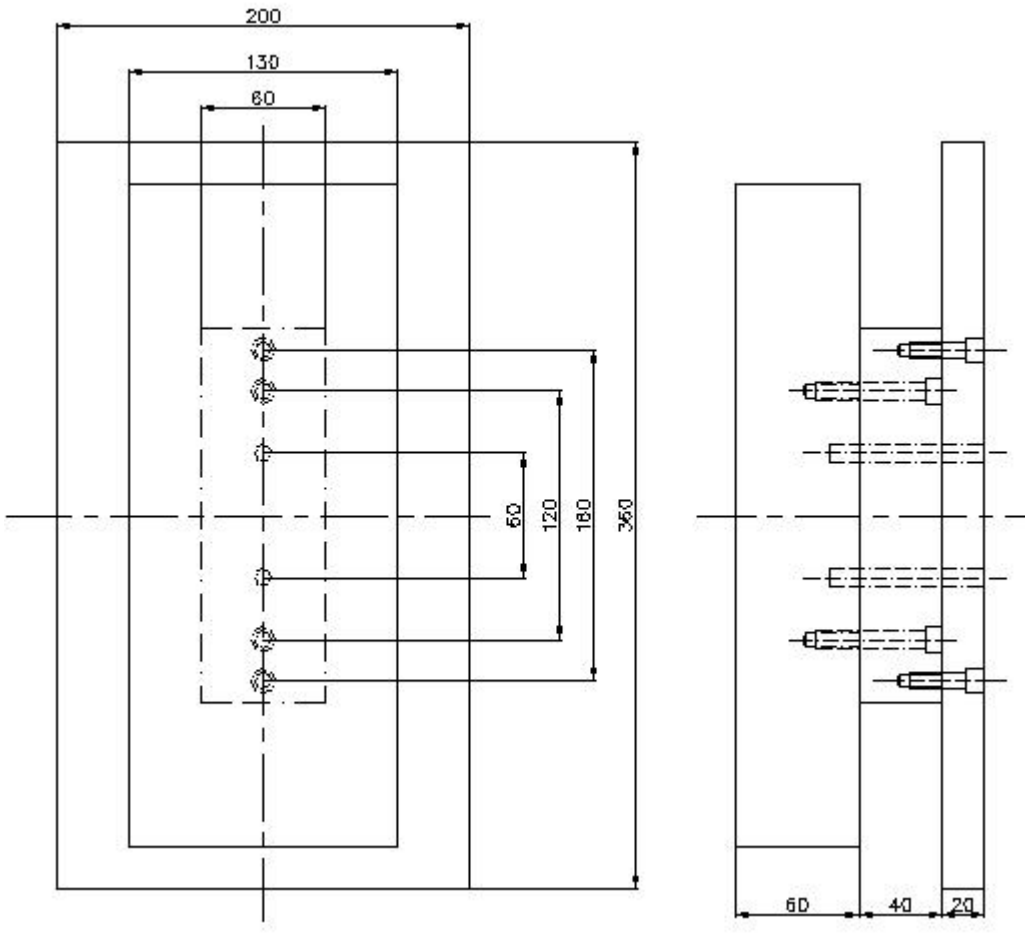


Dimension (mm.)	X	Y	Z
	320	130	60

ในการจับยึดชิ้นงานแบบไม้ใช้อุปกรณ์การจับยึดแบบ Jig Fixture โดยออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถจับยึดกับชิ้นงานรวมถึงจับยึดกับฐานของเครื่องกัดห้าแกน ซึ่งสรุปอุปกรณ์การจับยึดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงอุปกรณ์การจับยึดชิ้นงาน (Work Holding)

ใบปรับตั้งที่1	**หมายเลขแบบ : A20-01**	**เครื่องจักร : CNC Milling**
วัสดุ : Wood	**ชื่องาน : Wood Model**	**เตรียมชิ้นงาน : Nopporn B.**



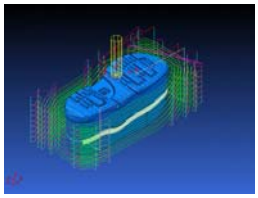
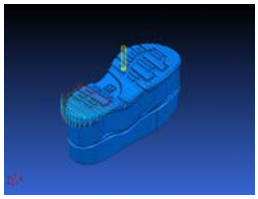
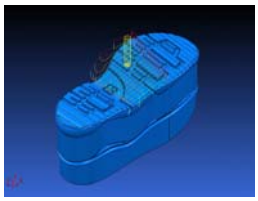
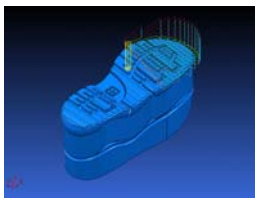
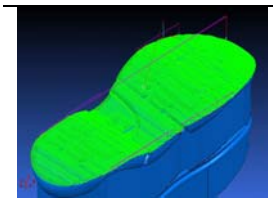
รายการเครื่องมือในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้ โดยผ่านกระบวนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด ซึ่งสรุปรายการเครื่องมือที่ใช้ในโปรแกรมต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงรายการเครื่องมือสำหรับชิ้นงานแบบไม้

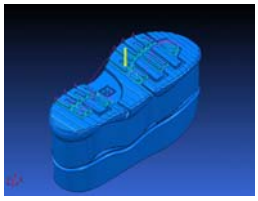
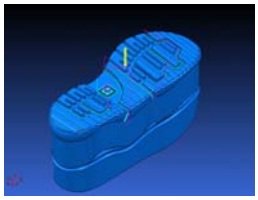
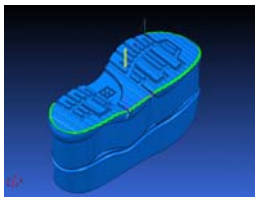
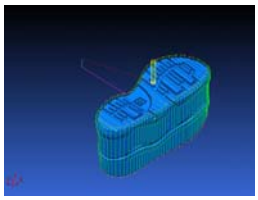
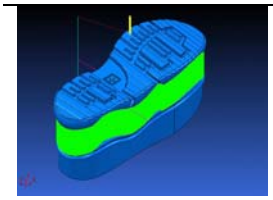
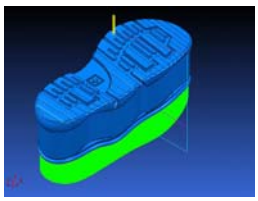
ใบรายการเครื่องมือ		หมายเลขแบบ : A20-01		ชื่องาน : Wood Model
		ใบสั่งงานที่ : MC -03-12		เตรียมโดย : Nopporn B.
เครื่องจักร : CNC Milling		วัสดุ : Wood		ว/ด/ป : 10/12/49
ขั้นตอน	หมายเลขเครื่องมือ	รายละเอียดของเครื่องมือ (mm.)	หมายเลขการประกอบเครื่องมือ	หมายเหตุ
1	1	End mill Flat Ø 25	MC01001	
2	1	End mill Flat Ø 10	MC01001	
3	1	Ball mill Ø 4	MC01001	
4	1	End mill Flat Ø 3	MC01001	
5	1	Ball mill Ø 3	MC01001	
6	1	Ball mill Ø 10	MC01001	
7	1	Ball mill Ø 6	MC01001	

จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด โดยวิธีการและขั้นตอนในการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ซึ่งสรุปรายละเอียดของโปรแกรมต่างๆ รวมถึงเวลาที่ใช้ในแต่ละโปรแกรม ดังตารางต่อไปนี้

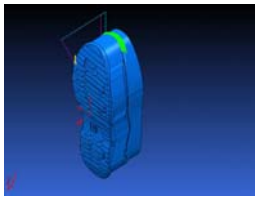
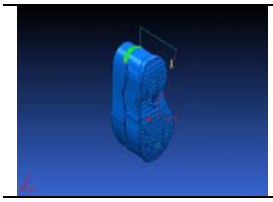
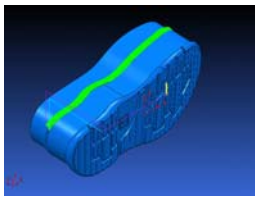
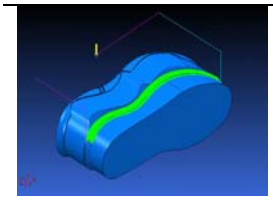
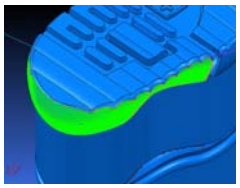
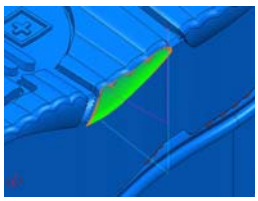
ตารางที่ 5 แสดงการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้

ภาพแสดงการเขียนโปรแกรม	รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม	รายการเครื่องมือ(mm.)	ข้อมูลการตัดเฉือน			เวลา (นาที)
			CS	S	F	
	การกัดด้วยวิธีหยาบๆ เนื่องจากชิ้นงานที่มีความโตกว่าขนาดจริง	End mill Ø 25	150	3000	800	60
	การกัดด้วยวิธีกึ่งละเอียด จะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงานของชิ้นงานแบบไม้	End mill Ø 10	200	5000	1000	10
	การกัดด้วยวิธีกึ่งละเอียด จะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงานของชิ้นงานแบบไม้	End mill Ø 10	200	5000	1000	20
	การกัดด้วยวิธีกึ่งละเอียด จะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงานของชิ้นงานแบบไม้	End mill Ø 10	200	5000	1000	10
	การกัดด้วยวิธีละเอียด จะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงานของชิ้นงานแบบไม้	Ball mill Ø 4	200	8000	1200	40

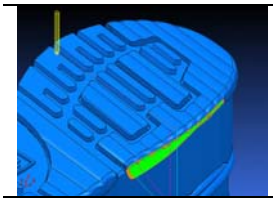
ตารางที่ 5 (ต่อ)

ภาพแสดงการเขียนโปรแกรม	รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม	รายการเครื่องมือ(mm.)	ข้อมูลการตัดเฉือน			เวลา (นาที)
			CS	S	F	
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านในร่องของชิ้นงาน	End mill Ø 3	200	12000	800	30
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านในร่องของชิ้นงาน	End mill Ø 3	150	12000	800	19
	การกัดด้วยละเอียดจะกัดบริเวณด้านขอบของชิ้นงาน	Ball mill Ø 3	150	12000	800	15
	การกัดด้วยวิธีหยาบๆด้านข้างของชิ้นงาน	End mill Ø 10	150	5000	1000	20
	การกัดด้วยวิธีละเอียดบริเวณด้านข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 10	150	5000	1000	30
	การกัดด้วยวิธีละเอียดบริเวณด้านข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 10	200	5000	100	30

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ภาพแสดงการเขียนโปรแกรม	รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม	รายการเครื่องมือ(mm.)	ข้อมูลการตัดเฉือน			เวลา (นาที)
			CS	S	F	
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	150	6000	800	10
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านล่างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	150	6000	800	10
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	150	6000	800	25
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	150	6000	800	25
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านขอบข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	200	6000	800	10
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านขอบข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	150	6000	800	10

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ภาพแสดงการเขียนโปรแกรม	รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม	รายการเครื่องมือ(mm.)	ข้อมูลการตัดเฉือน CS	S	F	เวลา (นาที)
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านขอบข้างของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	150	6000	800	10
รวมเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป						384

หมายเหตุ CS คือ ความเร็วตัด (เมตร/นาที), S คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที),
F คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/นาที)

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบการขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องกัดสามแกนและเครื่องกัดห้าแกน

วิธีการทดลอง	เครื่องกัดสามแกน	เครื่องกัดห้าแกน
เวลาในการสร้างทางเดินของมีดตัดเฉือน	400	350
เวลาในการ Setup เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต	190	30
เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์	850	384
รวมเวลาในการผลิต (นาที)	1440	764

<u>สรุปเวลาในการขึ้นรูปแบบไม้</u>

รวม เวลาที่ใช้ในการผลิตแบบไม้ด้วยเครื่องกัดสามแกน = 1,440 นาที

รวมเวลาที่ใช้ในการผลิตแบบไม้ด้วยเครื่องกัดห้าแกน = 764 นาที

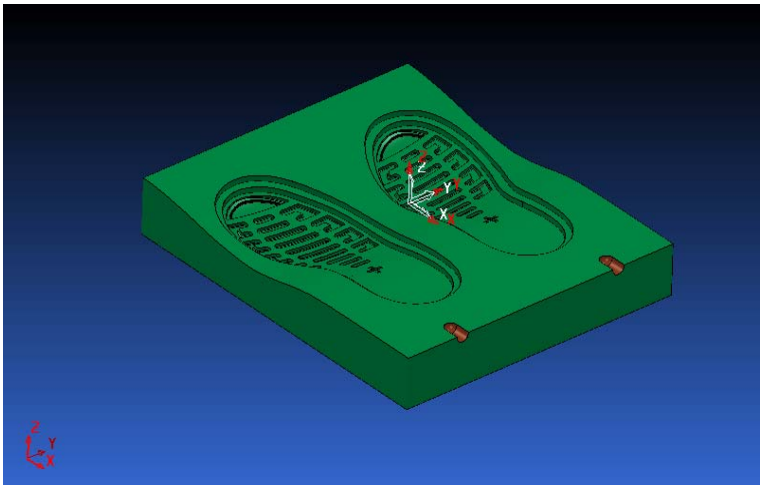
สามารถประหยัดเวลาในการผลิตแบบไม้ = 676 นาที

หรือประหยัดเวลาในการผลิตแบบไม้ = 46.94 %

5. ผลการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

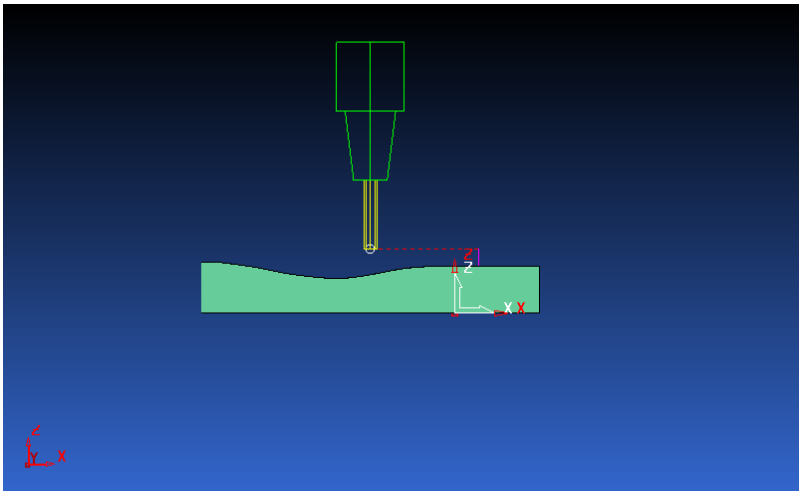
ผลการทำโปรแกรมเริ่มต้นเขียนโปรแกรม โดยการเตรียม Cad Files ที่เขียนเสร็จแล้วจากโปรแกรม (Power shape) สามารถเข้าสู่หมวดของการทำงานของโปรแกรม Power Mill ได้

5.1 การทำงานของโปรแกรมขั้นแรกทำการ Import Models นำไฟล์รูปชิ้นงานเข้าสู่โปรแกรม Power Mill ดังภาพที่ 96



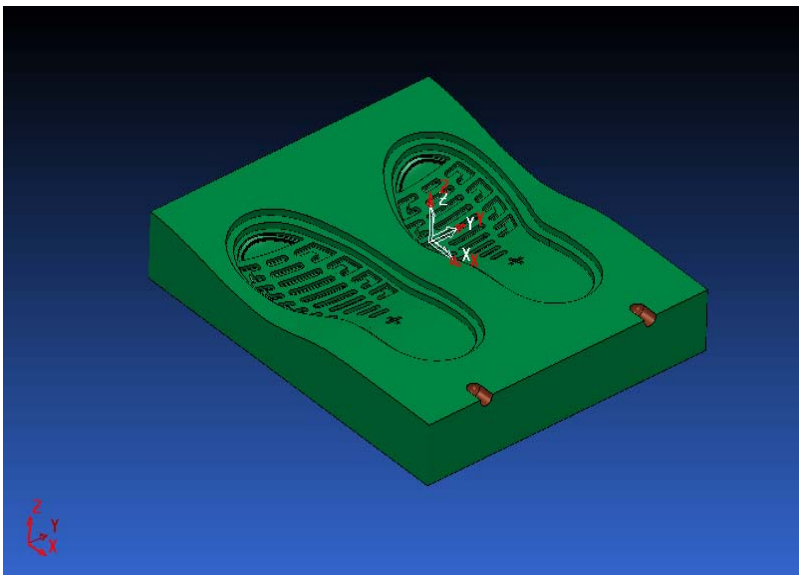
ภาพที่ 96 พื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

5.2 สร้างศูนย์ชิ้นงาน (Create Workplane) เพื่อใช้เป็นแกนในการกำหนดการทำงาน ดังภาพที่ 97



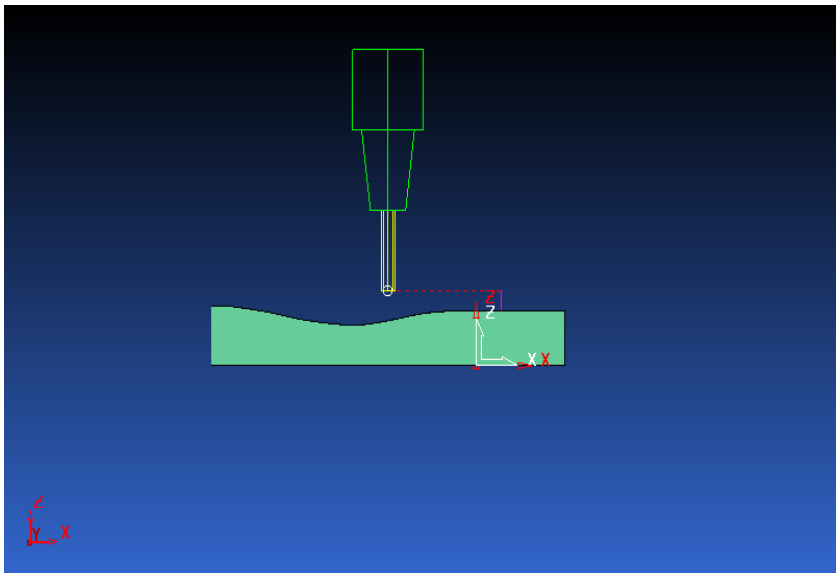
ภาพที่ 97 สร้างศูนย์ชิ้นงาน

5.3 กำหนดขนาดวัตถุดิบ (Material block definition) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับกำหนดวัตถุดิบที่จะนำมาตัดเฉือน จากชิ้นงานทำการกำหนดแบบ Boundary Box ซึ่งจะนำเอาค่า Max –Min ของตัวชิ้นงานมาสร้างกล่องสี่เหลี่ยมปกคลุมตัวชิ้นงาน ดังภาพที่ 98



ภาพที่ 98 กำหนดขนาดวัตถุดิบ (Material Block Definition)

5.4 กำหนดมีดกัดหรือทูล (Cutting Tools Definition) ดังภาพที่ 99

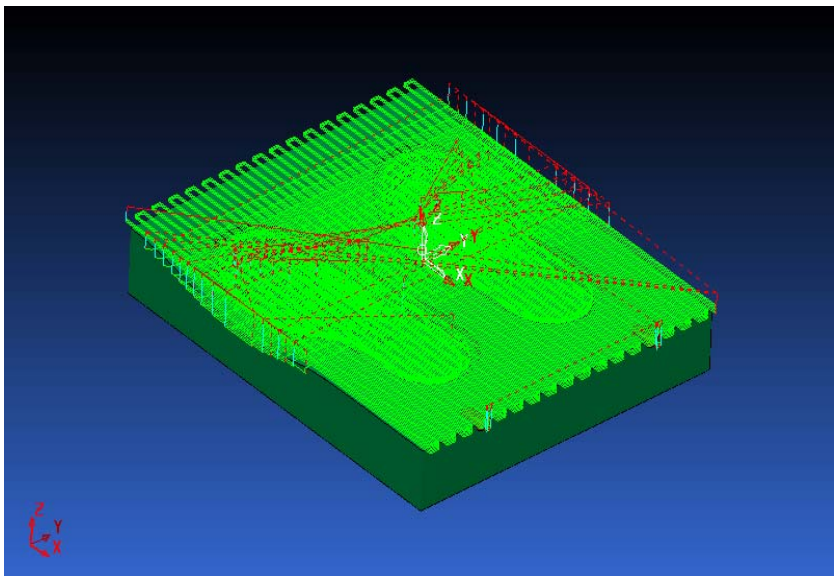


ภาพที่ 99 กำหนดมีดกัดหรือทูล (Cutting Tools Definition)

5.5 กำหนดอัตราป้อนและความเร็วรอบของสปินเดิ้ล (Feed Rate and Spindle speed setting) กำหนดระยะความสูงที่ทูลเคลื่อนที่เร็วหรือเคลื่อนที่ด้วย G00 ไม่กินชิ้นงาน (Rapid Move Heights Setting)

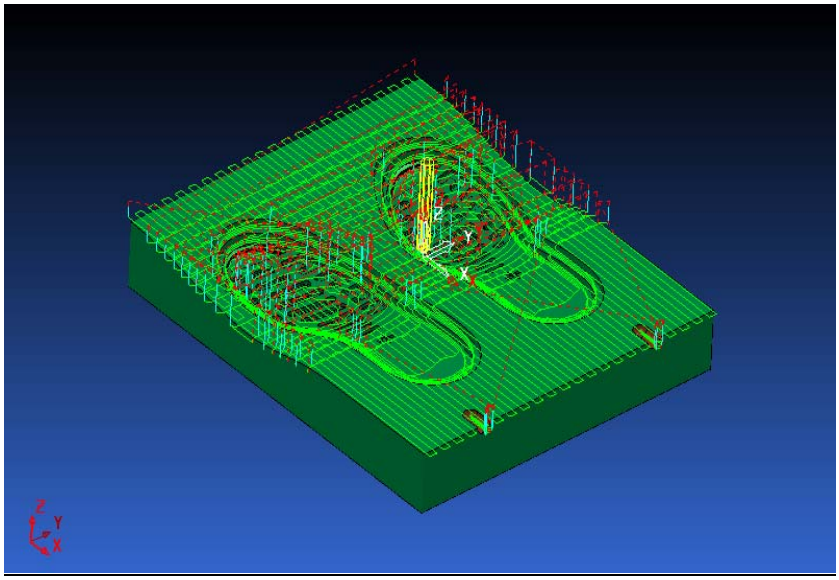
5.6 กำหนดรูปแบบของเส้นทางเดินมีดหรือทูลพาธ (Create Toolpath Operation)

เริ่มต้นเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่1 โดยการลดขนาดด้านข้างของชิ้นงานรองเท้าเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 100



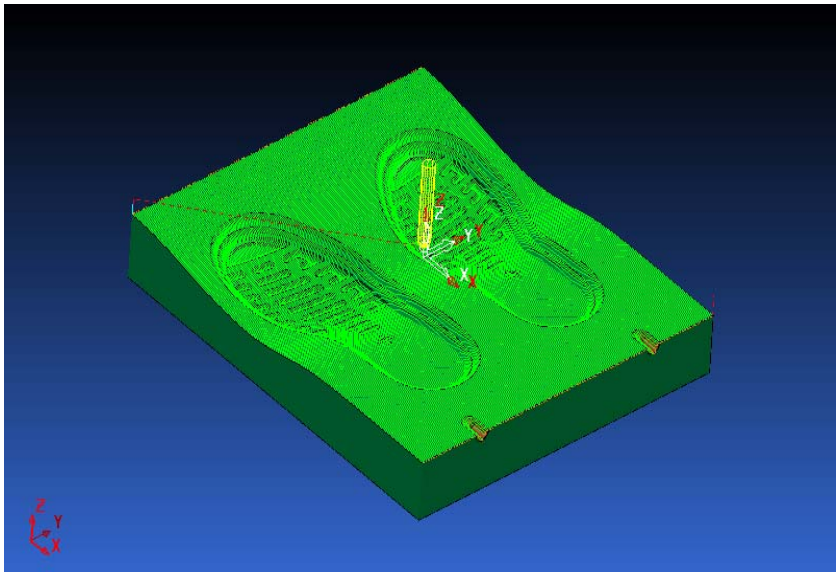
ภาพที่ 100 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของชิ้นงานรองเท้า

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 2 โดยการเก็บผิวของชิ้นงานแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 101



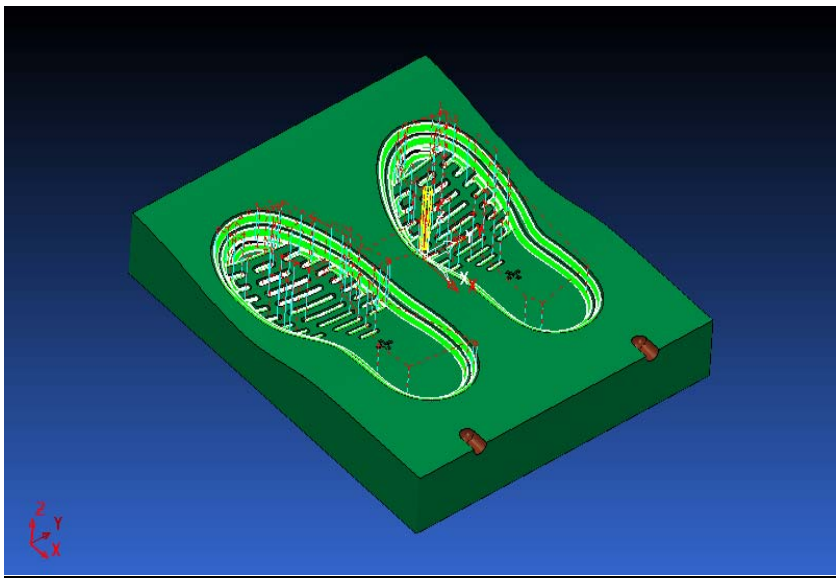
ภาพที่ 101 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของชิ้นงานรองเท้า

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 3 โดยการเก็บผิวของชิ้นงานแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 102



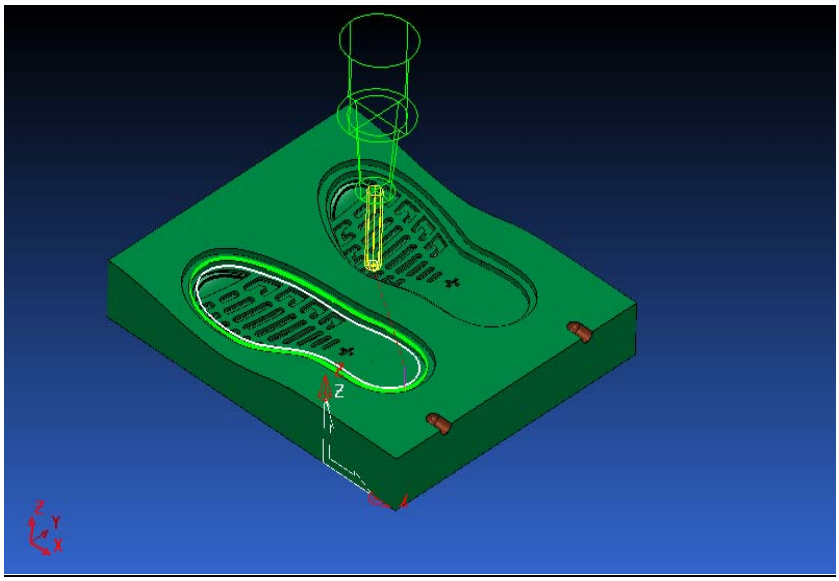
ภาพที่ 102 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านบนของชิ้นงานรองเท้า

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 4 โดยการกัดบริเวณขอบของแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 103



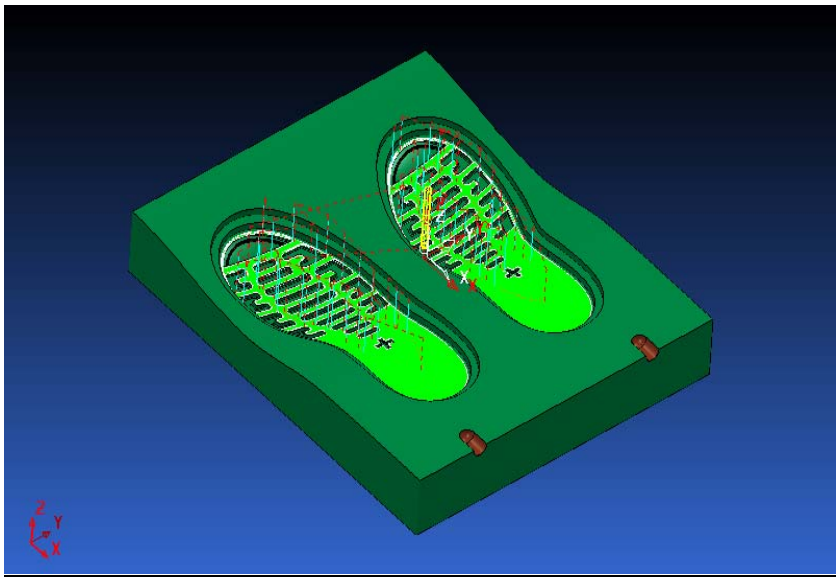
ภาพที่ 103 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบของแม่พิมพ์อะลูมิเนียม

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 5 โดยการกัดบริเวณขอบ 2 ด้านของแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังภาพที่ 104



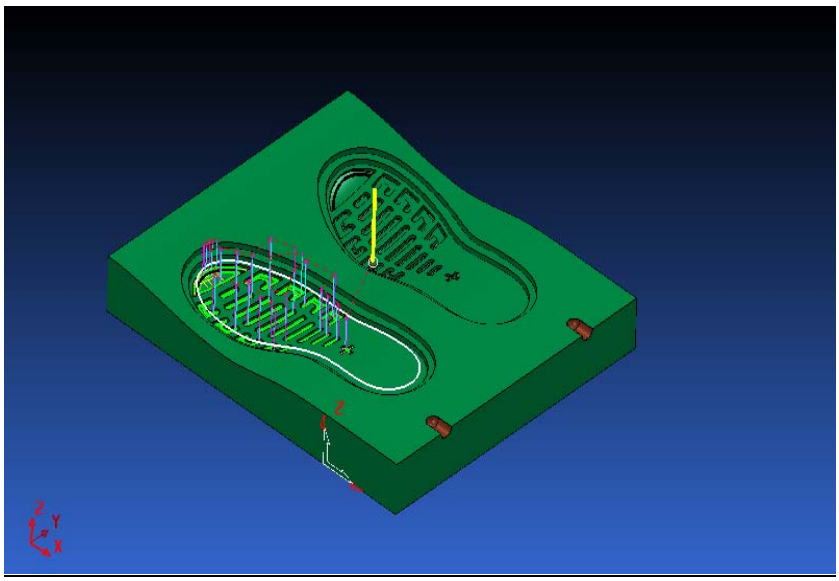
ภาพที่ 104 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณขอบ 2 ด้านของแม่พิมพ์อะลูมิเนียม

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 6 โดยการกัดบริเวณพื้นของแม่พิมพ์อะลูมิเนียมเพื่อให้ได้ผิวที่สมบูรณ์มากขึ้น ดังรูปที่ 105



ภาพที่ 105 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณพื้นของแม่พิมพ์อลูมิเนียม

เขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดที่ 7 โดยการกัดบริเวณในร่องของแม่พิมพ์อลูมิเนียมทั้ง 2 ด้าน ดังภาพที่ 106



ภาพที่ 106 การเขียนเส้นทางเดินของมีดบริเวณด้านในร่องของแม่พิมพ์อลูมิเนียม

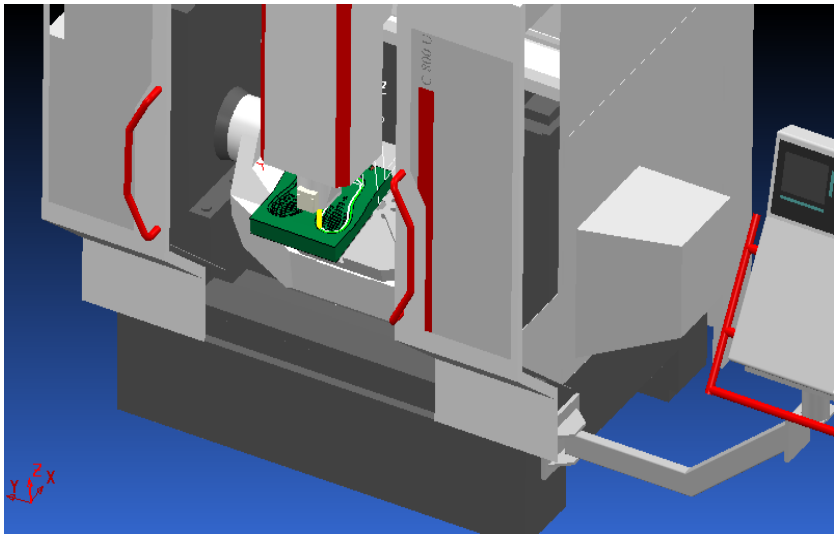
5.7 การตรวจสอบและการจำลองการกัดงาน (Verification and Simulation)

การตรวจสอบและการจำลองการกัดงาน (Verification and Simulation) การตรวจสอบป้องกันการชน (Collision Checking) มีการพัฒนาการกำหนดลักษณะมีดและวิธีการตรวจสอบป้องกันการชนใหม่ในโปรแกรม Power Mill โดยมีทางเลือกในการจำลองทางเดินของหัวจับมีดกัดได้ และระบุลักษณะข้อแตกต่างของมีดและด้ามจับ Power Mill ยอมให้สร้างขอบเขตเพื่อป้องกันการชนคลอบคลุมพื้นที่เฉพาะของโมเดลงาน

การจำลองการกัดงาน (Simulation) โปรแกรม Power Mill นำเอาโมเดลของเครื่องจักรมาร่วมจำลองการกัดงานภายในโปรแกรมด้วย ซึ่งสามารถเลือกที่จะสร้างโมเดลของเครื่องรุ่นที่ตนเองใช้เก็บไว้เพิ่มเติมได้ การจำลองการกัดงานในลักษณะนี้จะทำให้เห็นเหตุการณ์จริงทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นเมื่อทำการกัดงานจริงและสามารถเปรียบเทียบวิธีการกัดงานแบบต่างๆ เพื่อเลือกก่อนการกัดงานจริง สิ่งนี้จะเป็นประโยชน์ที่สำคัญสำหรับผู้ใช้เครื่อง 5 แกนในภาพจำลอง

จะชี้ให้เห็นหากจะเกิดการกัดงานเกินพิกัดของเครื่อง หรือหากจะมีการชนเกิดขึ้น การจำลองการกัดงานจะช่วยทำให้แน่ใจว่า ได้ผลสูงสุดจากเครื่องจักร

การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation ของโปรแกรม Power Mill จะนำไฟล์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินมีดตัดด้วยโปรแกรม Power mill ไป Post ลงในเครื่องกัด Damo ที่ต้องการRUN โปรแกรม โดยใช้มีดตัดเฉือนตามขนาดต่างๆ ที่ได้คำนวณทางเดินของมีดตัดเพื่อดูทิศทางของหัวกัดในหน้าเครื่องกัด ดังภาพที่ 107



ภาพที่ 107 การทดสอบโปรแกรมโดยการ Simulation

5.8 สร้างไฟล์ G-Code หรือ NC โปรแกรม (Create NC Program)

ตารางที่ 7 แสดงโปรแกรมไฟล์ G-Code

ชื่อชิ้นงาน : พื้นรองเท้า	หมายเลขแบบ : PC Milling -01	
หมายเลขโปรแกรม : A-01	แผ่นที่ : 1	จำนวน : 1 แผ่น

1 BEGIN PGM ROUGH 20 MM

2 BLK FORM 0.1 Z X-200. Y-170. Z-60.

3 BLK FORM 0.2 X200. Y170.001 Z1.

4 L M129

5 CYCL DEF 19.0 WORKING PLANE

6 CYCL DEF 19.1 A+0.0 C+0.0

7 CYCL DEF 19.0 WORKING PLANE

8 CYCL DEF 19.1

9 CYCL DEF 7.0 DATUM SHIFT

10 CYCL DEF 7.1 X0.0

11 CYCL DEF 7.2 Y0.0

12 CYCL DEF 7.3 Z0.013 ;

14 LBL 170

15 LBL 0

25 ; TOOLPATH : ROUGH 20

27 L M128

28 M03 M8

29 L X0.0 Y0.001 Z11. A0.0 C0.0 FQ3

30 L X-112.366 Y-65.527 A13.989 C68.176

31 L Z-19.91

32 L X-113.488 Y-65.078 Z-24.762 FQ1

33 L X-113.48 Y-65.018 Z-24.758 A13.99 C68.168 FQ2

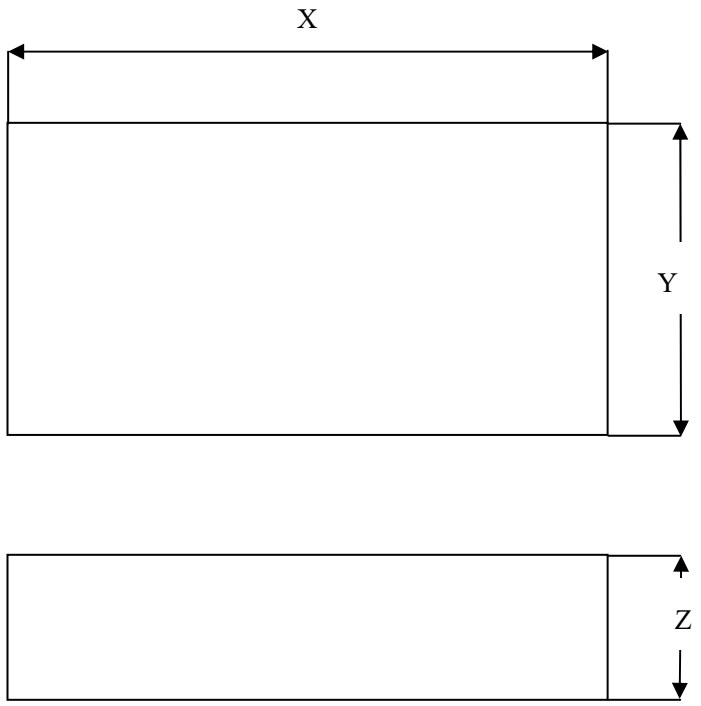
34 L X-112.27 Y-65.009 Z-19.751 FQ3

35 L X-119.489 Y-124.34 Z-17.899 A15.124 C110.971

จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมซึ่งสรุปผลการกำหนดขนาดชิ้นงานดิบโดยเขียนแบบขนาดต่างๆลงในตารางแสดงการกำหนดชิ้นงานดิบ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงการกำหนดชิ้นงานดิบ (Raw material)

แบบวัตถุดิบ	**หมายเลขแบบ : A20-01**	**เครื่องจักร :** CNC Milling
วัสดุ : Al	**ชื่องาน :** Top Plate	**เตรียมชิ้นงาน :** Nopporn B.

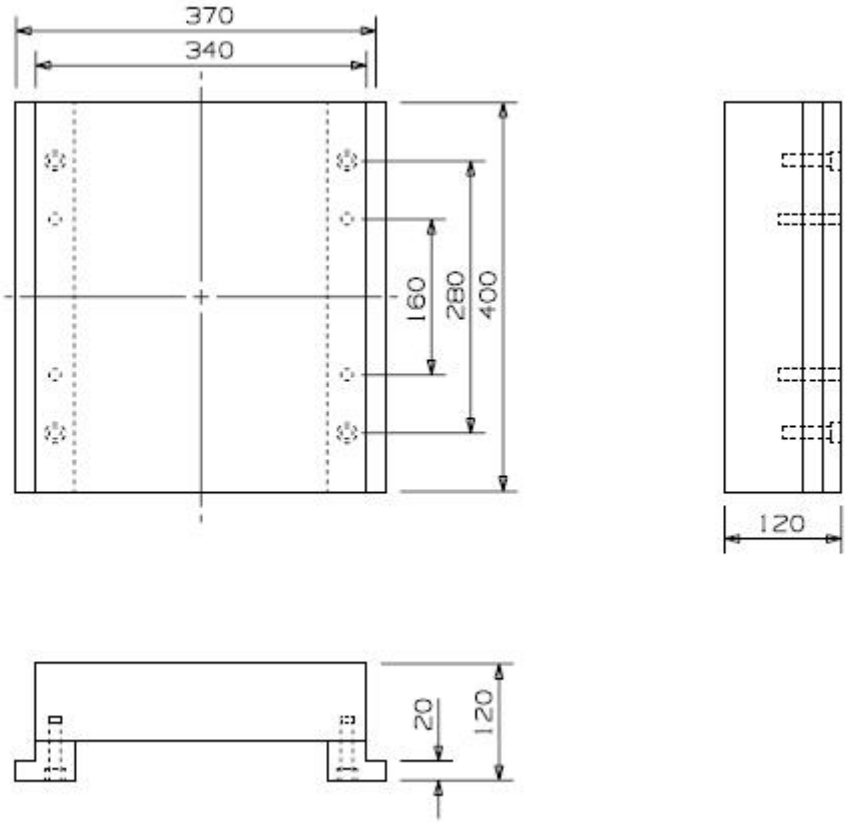


Dimension (mm.)	X	Y	Z
	340	400	80

ในการจับยึดพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมใช้อุปกรณ์การจับยึดแบบ Jig Fixture โดยออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถจับยึดกับชิ้นงานรวมถึงจับยึดกับฐานของเครื่องกัดห้าแกน ซึ่งสรุปอุปกรณ์การจับยึดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 9 แสดงอุปกรณ์การจับยึดชิ้นงาน (Work Holding)

ใบปรับตั้งที่1	หมายเลขแบบ : A20-01	เครื่องจักร : CNC Milling
วัสดุ : Aluminum	ชื่องาน : Top Plate	เตรียมชิ้นงาน : Nopporn B.



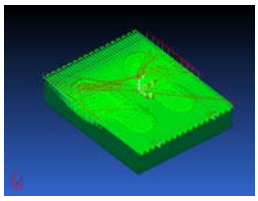
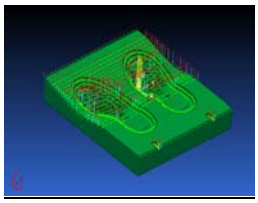
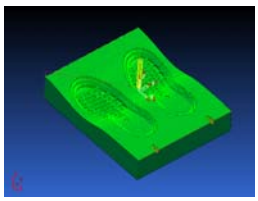
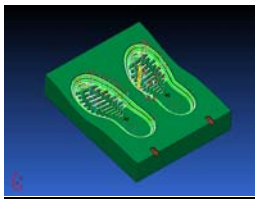
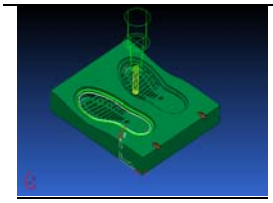
รายการเครื่องมือในการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม โดยผ่านกระบวนการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด ซึ่งสรุปรายการเครื่องมือที่ใช้ในโปรแกรมต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 แสดงรายการเครื่องมือสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

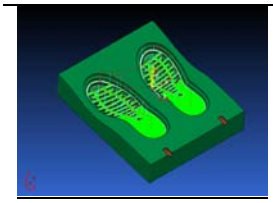
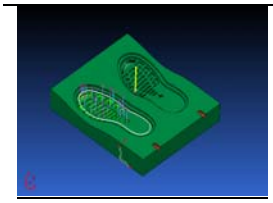
ใบรายการเครื่องมือ		หมายเลขแบบ : A20-01		ชื่องาน : Top Plate
		ใบสั่งงานที่ : MC -03-12		เตรียมโดย : Nopporn B.
เครื่องจักร : CNC Milling		วัสดุ : Aluminum		ว/ด/ป : 10/12/49
ขั้นตอน	หมายเลขเครื่องมือ	รายละเอียดของเครื่องมือ (mm.)	หมายเลขการประกอบเครื่องมือ	หมายเหตุ
1	1	End mill Flat Ø 25	MC01001	
2	1	End mill Flat Ø 12	MC01001	
3	1	Ball mill Ø 10	MC01001	
4	1	End mill Flat Ø10	MC01001	
5	1	Ball mill Ø 6	MC01001	
6	1	End mill Flat Ø 4	MC01001	

จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัด โดยวิธีการและขั้นตอนในการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ซึ่งสรุปรายละเอียดของโปรแกรมต่างๆ รวมถึงเวลาที่ใช้ในแต่ละโปรแกรมดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 11 แสดงการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

ภาพแสดงการเขียนโปรแกรม	รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม	รายการเครื่องมือ (mm.)	ข้อมูลการตัดเฉือน			เวลา (นาที)
			CS	S	F	
	การกัดด้วยวิธีหยาบๆ เนื่องจากชิ้นงานที่มีความโตกว่าขนาดจริง	End mill Ø 25	200	3000	500	44
	การกัดด้วยวิธีกึ่งละเอียด จะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงาน	End mill Ø 12	150	5000	800	30
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านบนของชิ้นงาน	Ball mill Ø 10	150	6000	1000	60
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณในร่องของชิ้นงาน	End mill Ø 10	150	6000	1000	25
	การกัดด้วยละเอียดจะกัดบริเวณในร่องของชิ้นงาน	End mill Ø 10	150	6000	1000	15

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ภาพแสดงการเขียนโปรแกรม	รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม	รายการเครื่องมือ (mm.)	ข้อมูลการตัดเฉือน			เวลา (นาที)
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณด้านพื้นของชิ้นงาน	Ball mill Ø 6	200	8000	800	30
	การกัดด้วยวิธีละเอียดจะกัดบริเวณในร่องของชิ้นงาน	End mill Ø 4	150	12000	600	10
	รวมเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป					214

หมายุเหตุ CS คือ ความเร็วตัด (เมตร/นาที), S คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที),
F คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/นาที)

สรุปผลการเปรียบเทียบการขึ้นรูปพื้นรองเท้าโดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกนกับกระบวนการผลิตเดิมของทางโรงงาน

กระบวนการผลิตของทางโรงงานโดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยเครื่องกัดสามแกน จากนั้นนำชิ้นงานแบบไม้ที่ได้ไปผ่านกระบวนการหล่อโลหะเพื่อให้ได้ชิ้นงานแม่พิมพ์ยาง ใช้เวลาในกระบวนผลิตทั้งหมด 1,260 นาที

ตารางที่ 12 ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าโดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกน

วิธีการทดลอง	เครื่องกัดห้าแกน
เวลาในการสร้างทางเดินของมีดตัดเฉือน	300
เวลาในการ Setup เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต	30
เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์	214
รวมเวลาในการผลิต (นาที)	544

เวลาที่ใช้ในการผลิตของทางโรงงาน	=	1,260	นาที
เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปบนเครื่องกัดห้าแกน	=	544	นาที
สามารถประหยัดเวลาในการผลิตแบบไม้	=	716	นาที
หรือประหยัดเวลาในการผลิตแบบไม้	=	56.8 %	

6. ผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

6.1 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการกัดชิ้นงานแบบไม้ โดยเตรียมขนาดของวัตถุดิบกว้าง 320 มิลลิเมตร ยาว 130 มิลลิเมตร หนา 60 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 108

ภาพที่ 108 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อจะนำมากัดแบบไม้

6.2 การปรับตั้งชิ้นงาน โดยจะนำชิ้นงานจับยึดกับอุปกรณ์จับยึดที่เตรียมไว้แล้วนำไปติดตั้งบนโต๊ะงานบนเครื่องกัดห้าแกน จากนั้นทำการตรวจสอบความฉากและความขนานของชิ้นงาน พร้อมทั้งกำหนดจุดศูนย์ของชิ้นงานให้ตรงกับโปรแกรมได้ทำการเขียนไว้

6.3 การปรับตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือน จะนำหัวจับมีดตัดที่เตรียมไว้จับยึดมีดตัดแล้วนำไปใส่ในแมกกาซีนของเครื่องกัดห้าแกนพร้อมกับทำติดตั้งมีดตัด

6.4 ส่งโปรแกรมเข้าเครื่องกัดห้าแกน โปรแกรมเอ็นซีที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมเอ็นซีนี้ก็จะถูกส่งโดยผ่านสายส่งข้อมูลดโดยผ่านสาย RS-232 ไปยังเครื่องจักรซีเอ็นซีเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป

6.5 การทดลองเดินโปรแกรมที่ใช้ในการผลิต Dry Run Testing เรียกโปรแกรมที่ต้องการกัดตรวจสอบและทำการแก้ไขโปรแกรมทำ Graphic Program Testing ทำ Work Coordinate System แล้วกดปุ่ม Reset กำหนดเผื่อค่าของแกน Z (ไม่ให้กัดชิ้นงานให้อยู่เหนือชิ้นงานประมาณ 10 -20 มม.) กดปุ่ม Dry Run ปรับค่าต่างๆบน Control Panel กดปุ่ม Single Block กดปุ่ม Cycle Start และสังเกตุการเคลื่อนที่ของมีดตัดโดยเครื่องจักรจะทำงานที่ละแถวและเมื่อจบแล้วให้กดปุ่มเริ่มต้นอีกครั้งจนจบโปรแกรม ถ้าหากมีข้อผิดพลาดให้กลับไปแก้ไขโปรแกรมและทำการ Dry Run Testing ใหม่

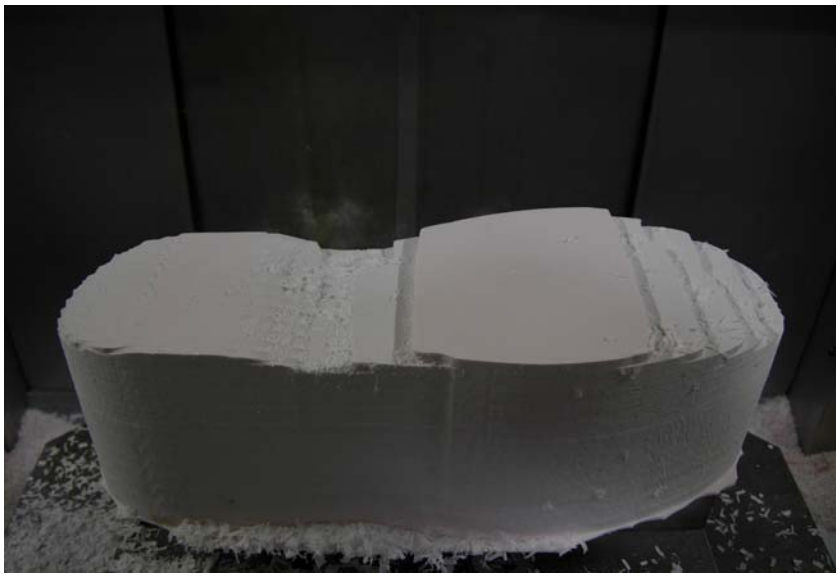
6.6 การทำงานเครื่องกัดห้าแกน เปิด (Switch) ของเครื่องจักร กดปุ่ม Power ON เข้าสู่จุดอ้างอิงของเครื่องในแนวแกน (X, Y, Z, A, C) เข้าสู่โหมดของการทำงานโหลดโปรแกรมที่เตรียมไว้โดยส่งผ่านสัญญาน ดำเนินการกัดชิ้นงานจากโปแกรมที่เตรียมไว้

หลังจากที่ได้ข้อมูลต่างๆครบสมบูรณ์แล้ว จากนั้นทำการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน โดยการขึ้นรูปจะใช้วิธีการตามโปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ ลักษณะการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน ดังภาพที่ 109

ภาพที่ 109 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน

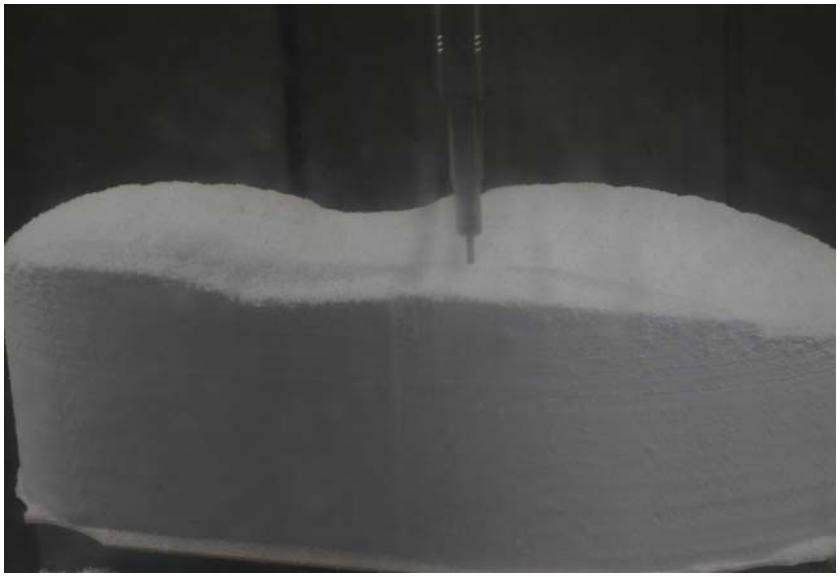
ภาพที่ 110 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน

ภาพที่ 111 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน

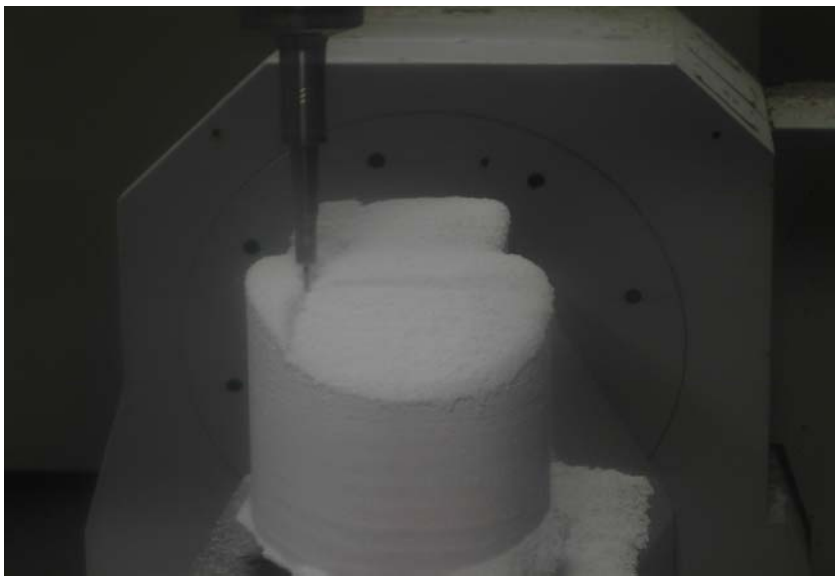


ภาพที่ 112 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน

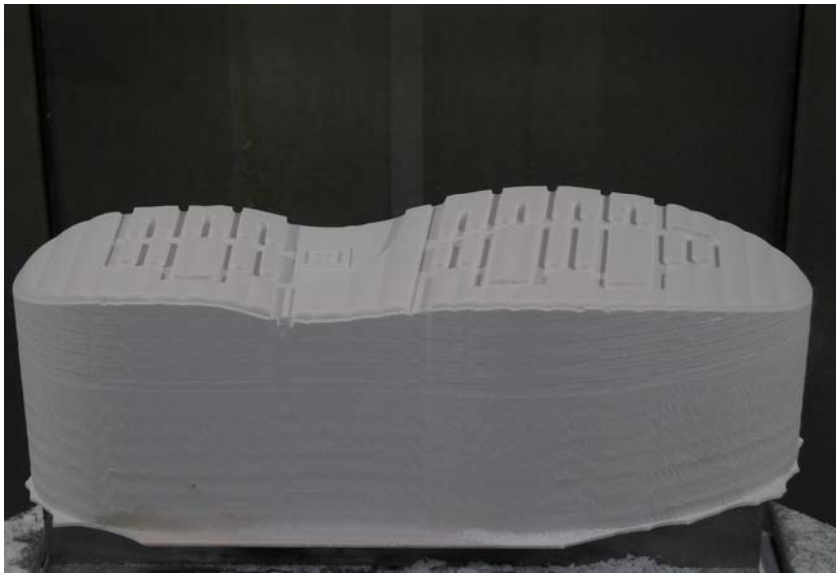
ภาพที่ 113 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน



ภาพที่ 114 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน



ภาพที่ 115 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน



ภาพที่ 116 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน

ภาพที่ 117 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน

จากนำโปรแกรมที่ได้จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดมาทำการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกนได้ผลการทดลองดังภาพที่ 118, 119, 120, และ 121

ภาพที่ 118 ผลการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้

ภาพที่ 119 ผลการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้

ภาพที่ 120 ผลการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้

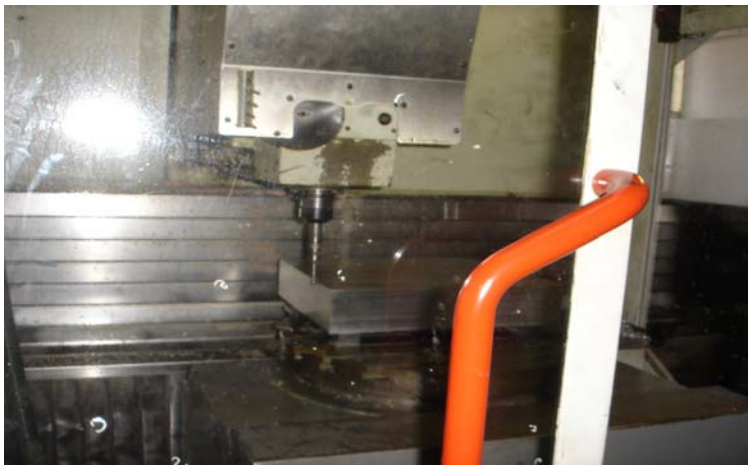
ภาพที่ 121 ผลการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้

7. ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

7.1 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการกัดพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยเตรียมขนาดของวัตถุดิบกว้าง 340 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร หนา 80 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 122

ภาพที่ 122 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อจะนำมากัดพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

7.2 การปรับตั้งชิ้นงาน โดยจะนำชิ้นงานจับยึดกับอุปกรณ์จับยึดที่เตรียมไว้แล้วนำไปติดตั้งบนโต๊ะงานบนเครื่องกัดห้าแกน จากนั้นทำการตรวจสอบความฉากและความขนานของชิ้นงานพร้อมทั้งกำหนดจุดศูนย์ของชิ้นงานให้ตรงกับโปรแกรมได้ทำการเขียนไว้ ดังภาพที่ 123



ภาพที่ 123 การปรับตั้งชิ้นงานเพื่อจะนำมากัดพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

7.3 การปรับตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือน จะนำหัวจับมีดตัดที่เตรียมไว้จับยึดมีดตัดแล้วนำไปใส่ในแมกกาซีนของเครื่องกัดห้าแกนพร้อมกับทำติดตั้งมีดตัด

7.4 ส่งโปรแกรมเข้าเครื่องกัดห้าแกน โปรแกรมเอ็นซีที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมเอ็นซีนี้ก็จะถูกส่งโดยผ่านสายส่งข้อมูลดโดยผ่านสาย RS-232 ไปยังเครื่องจักรซีเอ็นซีเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป

7.5 การทดลองเดินโปรแกรมที่ใช้ในการผลิต Dry Run Testing เรียกโปรแกรมที่ต้องการกัดตรวจสอบและทำการแก้ไขโปรแกรมทำ Graphic Program Testing ทำ Work Coordinate System แล้วกดปุ่ม Reset กำหนดเผื่อค่าของแกน Z (ไม่ให้กัดชิ้นงานให้อยู่เหนือชิ้นงานประมาณ 10 -20 มม.) กดปุ่ม Dry Run ปรับค่าต่างๆบน Control Panel กดปุ่ม Single Block กดปุ่ม Cycle Start และสังเกตุการเคลื่อนที่ของมีดตัดโดยเครื่องจักรจะทำงานที่ละแถวและเมื่อจบแล้วให้กดปุ่มเริ่มต้นอีกครั้งจนจบโปรแกรม ถ้าหากมีข้อผิดพลาดให้กลับไปแก้ไขโปรแกรมและทำการ Dry Run Testing ใหม่

7.6 การทำงานเครื่องกัดห้าแกน เปิด (Switch) ของเครื่องจักร กดปุ่ม Power ON เข้าสู่จุดอ้างอิงของเครื่องในแนวแกน (X, Y, Z, A, C) เข้าสู่โหมดของการทำงานโหลดโปรแกรมที่เตรียมไว้โดยส่งผ่านสัญญาน ดำเนินการกัดชิ้นงานจากโปแกรมที่เตรียมไว้ หลังจากนำโปรแกรมที่ได้จากการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดมาทำการขึ้นรูปพื้นรองเท้าบนแม่พิมพ์อะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

หลังจากที่ได้ข้อมูลต่างๆ ครบสมบูรณ์แล้ว จากนั้นทำการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกน โดยการขึ้นรูปจะใช้วิธีการตามโปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ลักษณะการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้บนเครื่องกัดห้าแกน ดังภาพที่ 124 125 และ 126

ภาพที่ 124 การขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

ภาพที่ 125 ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

ภาพที่ 126 ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

วิจารณ์

หลังจากที่ได้ผลการทดลองมาเรียบร้อยแล้ว สามารถนำมาวิจารณ์ได้ดังนี้

1. การออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า

จากผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานรองเท้า โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ พบว่ามีปัญหาในส่วนของการสร้างพื้นผิวของชิ้นงาน โดยผิวของชิ้นงานที่ได้ยังเกิดช่องว่างและความเรียบของผิวยังไม่ดีพอ ซึ่งเกิดจากการสร้างเส้นเป็นโครงข่าย พบว่าในการสร้างเส้นโครงข่ายน้อยจะทำให้ผิวไม่เรียบ ถ้าสร้างเส้นโครงข่ายมาก จะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้นแต่จะเสียเวลาในการออกแบบ

2. การออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้า

จากผลการการออกแบบแม่พิมพ์อัดยางรองเท้าพบว่า การสร้างเส้นแบ่งผิวยังทำได้ยาก เพราะการสร้างผิวของโปรแกรมรวมถึงการเชื่อมต่อของผิวยังไม่ดีพอ จึงเป็นสาเหตุทำให้แยกชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ได้ยาก

3. การออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้

จากผลการออกแบบรูปทรง 3 มิติของชิ้นงานแบบไม้พบว่า ผิวของชิ้นงานที่ได้ยังเกิดช่องว่างและความเรียบของผิวยังไม่ดีพอ ซึ่งเกิดจากการสร้างเส้นเป็นโครงข่าย พบว่าในการสร้างเส้นโครงข่ายน้อยจะทำให้ผิวไม่เรียบ ถ้าสร้างเส้นโครงข่ายมากจะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้นแต่จะเสียเวลาในการออกแบบ

4. การเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับชิ้นงานแบบไม้

จากผลการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดพบว่า ยังใช้เวลาในการเขียนเส้นทางเดินของมีดกัดยังนานเกินไป ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเรียนรู้ของโปรแกรมใหม่รวมถึงขั้นตอนและวิธีการต่างๆ รวมถึงการวางแผนขั้นตอนการเขียนโปรแกรมยังไม่ดีพอ

5. การเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียม

จากผลการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดพบว่า ไม่สามารถกำหนดจุดอ้างอิงของชิ้นงานให้อยู่ตรงกลางได้ เนื่องจากเกินระยะการเอียงของเครื่องกัดห้าแกนต้องทำการย้ายจุดอ้างอิงของชิ้นงานเพื่อให้ได้ระยะของเครื่อง

6. ผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

จากผลการขึ้นรูปชิ้นงานแบบไม้โดยใช้เครื่องกัดห้าแกนแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานพบว่าผิวของชิ้นงานที่ได้ยังไม่ดีพอรวมถึงรอยต่อของชิ้นงาน ปัญหาเนื่องจากการออกแบบชิ้นงานแบบไม้ ซึ่งผิวของชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบไม่เรียบพอมีช่องว่างของผิว รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่เพียงพอจึงเป็นสาเหตุให้กระบวนการผลิตล่าช้า เช่น อุปกรณ์การจับยึดชิ้นงาน อุปกรณ์การจับยึดเครื่องมือตัด

7. ผลการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องกัดห้าแกน

จากการทดลองพบว่าเครื่องกัดห้าแกนของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมยังใช้ชุดควบคุมรุ่นเก่า ทำให้การย้ายจุดอ้างอิงการจับยึดชิ้นงานกระทำได้ลำบาก รวมถึงระยะแกนในการเคลื่อนที่ได้น้อยเพราะมีจุดอ้างอิงที่จุดเดียว ทำให้ต้องย้ายชิ้นงานเข้าหาจุดอ้างอิงเสมอ สาเหตุเนื่องจากชุดควบคุมของเครื่องกัดห้าแกนไม่มีระบบการย้ายตำแหน่ง ซึ่งจะแตกต่างกับเครื่องกัดห้าแกนของสถาบันไทย-เยอรมัน ที่ใช้ชุดควบคุมรุ่นใหม่กว่ามีระบบการย้ายตำแหน่ง ทำให้การอ้างอิงของชิ้นงานสามารถที่จะกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานบนเครื่องกัดได้ทุกตำแหน่ง ทำให้ง่ายต่อการจับยึด การย้ายตำแหน่ง ระยะในการเคลื่อนที่ รวมถึงการเขียนเส้นทางเดินของมีดตัด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการทดลองและวิจารณ์จะพบว่า สามารถลดเวลาในการขึ้นรูปของชิ้นงานแบบไม้เพื่อใช้สำหรับงานหล่อตัวแม่พิมพ์ยางพื้นรองเท้าได้ 46.94 % โดยเปรียบเทียบกับการผลิตโดยการขึ้นรูปสามแกน ผลการทดลองการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการหล่อโลหะ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีพื้นผิวที่ซับซ้อนหลายตำแหน่ง ทำให้โรงงานหรือผู้ประกอบการไม่สามารถทำการผลิตได้ด้วยวิธีปกติคือ การขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดสามแกนจบในขั้นตอนเดียว ซึ่งกระบวนการผลิตของทางโรงงานต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบไม้ จากนั้นนำชิ้นงานแบบไม้ไปทำการหล่อโลหะเพื่อให้ได้ตัวแม่พิมพ์ยาง จึงสรุปได้ว่าการขึ้นรูปพื้นรองเท้าของแม่พิมพ์โดยตรงบนชิ้นงานอะลูมิเนียมบนเครื่องกัดห้าแกนสามารถลดเวลาได้ 56.8 % โดยเปรียบเทียบกับการผลิตเดิมของทางโรงงาน

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาโปรแกรมอื่นที่ใช้ในการออกแบบมาทำการเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ใช้ในปัจจุบัน รวมถึงนำเทคโนโลยีมาช่วยในการออกแบบ เช่น วิศวกรรมย้อนรอย

ควรศึกษาขั้นตอนต่างๆ ของโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีความชำนาญ รวมถึงทักษะการใช้งานของคอมพิวเตอร์ และหาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบให้สมบูรณ์ จากนั้นทดลองศึกษาโปรแกรมอื่นที่ใช้ในการออกแบบมาทำการเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ใช้ในปัจจุบัน

ควรศึกษาวิธีการในการเขียนโปรแกรมเส้นทางเดินของมีดตัดให้มีความชำนาญ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานที่มีรูปทรงที่ยากและซับซ้อน

ควรปรับปรุงวิธีการทำงานในการขึ้นรูปชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพโดยอ้างอิงจากข้อมูลพื้นฐานเดิมที่ได้จากการขึ้นรูป แล้วทำการพัฒนาวิธีการแบบใหม่เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชาลี ตระการกูล. 2545. **เทคโนโลยีซีเอ็นซี**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2535. **เครื่องจักรกลซีเอ็นซีและการโปรแกรมสำหรับเครื่องกลึงและเครื่องกัด.** สำนักพัฒนาอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

อำนาจ ทองแสน. 2544. **ทฤษฎีและการเขียนโปรแกรม ซีเอ็นซี สำหรับการควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

พูลพงษ์ บุญพรามห์. 2537. **คอมพิวเตอร์ช่วยในงานอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

Barry, H. 1992. **The CAD/CAM Process.** Pitman Publishing, n.p.

Engineering Tool Manufacturing Company, Ltd. (ETM). 1994. **Super Precision Tooling System.** n.p.

Bilar, E.L.S. 1992. **Development of a Post Processor for Five Axis CNC Milling Machine**. M.Eng. Thesis, AIT.

Bohez, E.L.J. 1979. **Computer Aided Geometric Design and Computer Aided manufacturing of Rotors for Centrifugal Compressor.** Personnel findings, n.p.

Boyed, K.B. 1974. Five Axis Machining. **Machine Design** 46(12): 134-138.

Marcinak, K. 1987. Influence of Surface Shape on Admissible Tool Positions in Five Axis Face Milling. **Computer Aided Design.** 19(5): 233-236.

Sheng, X. n.p. **5-Axis Milling.** Extended Report of M 8.3.

Werter, R. and J.B. Fanucci. 1979. **Vertical Axis Wind Turbine Development.** U.S. Development of Energy . 178-180, Development of Aerospace of Engineering, West Virginia.

Heman, W.P. and R. Terrance. 1990. **Computer Numerical Control.** Pretice-Hall, Inc.

Jonathan Lin, S.C. 1994. **Computer Numerical Control Form Programming to Networking**. Delmer Publishers.

Num. 1997. **1020/1040/1060 M. Programming** Volume 1.

Stenerson, J. and C. Kelly. 1987. **Computer Numerical Control Operation and Programming.** Prentice-Hall , Inc.

Vajapayee, S.K. 1995. **Principles of Computer Integrate Manufacturing.** Prentice-Hall, Prentice-Hall , Inc.