

การลดความเสียหายของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาด



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2552

การลดความเสียหายของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2552
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การลดความเสียหายของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2552

นายอนุชา นนท์ประสาธ. (2552). การลดความเสียหายของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด, ปรินทิพย์พนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต บัวแก้ว, รองศาสตราจารย์ชาญ ถนัดงาน.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดความเสียหายเนื่องจากความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด โดยเปรียบเทียบค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง และปรับปรุงกระบวนการตัดปาดโดยการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWork2009 และทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Ansys11.0 และเปรียบเทียบผลการทดลองของกระบวนการตัดปาดเดิมและกระบวนการตัดปาดใหม่ โดยกำหนดค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์คือ $0 \pm 10 \mu\text{m}$ และค่าความหยابผิวน้อยกว่า $50 \mu\text{m}$

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความโก่งที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และกระบวนการตัดปาดใหม่ สอดคล้องกันและอยู่ในพิสัย ค่าความหยابของผิวชิ้นงานอยู่ในพิสัย และสามารถลดกระบวนการตัดปาดได้ 1 กระบวนการ โดยไม่เกิดความเสียหายจากกระบวนการตัดปาดใหม่และเวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดลดลงจากเดิม 6.9%

REDUCE DEFLECTION OF SLIDER BAR FROM MACHINING PROCESS



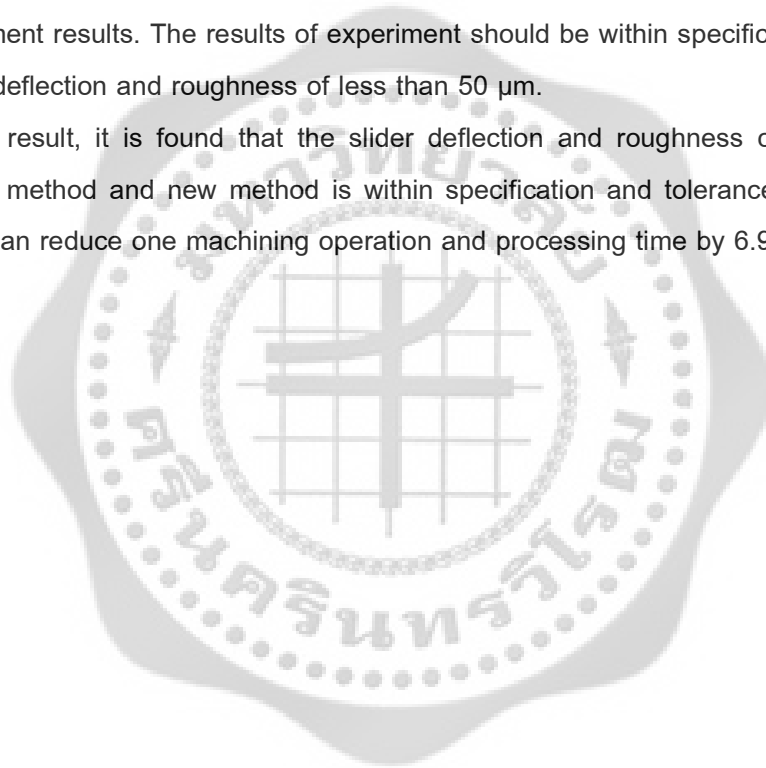
Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Engineering degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University

May 2009

Anucha Nonprasat. (2009). *Reduce Defection of Slider Bar from Machining Process*. Master thesis, M. Eng. (Mechanical Engineering) Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assist. Prof. Vichit Buakaew, Assoc. Prof. Charn Thanadngarn.

The objective of this research is to reduce slider bar deflection defect cause by machining process. The process will be studied and optimized by finite element method using Solid Works 2009 as a modeler and analyses by Ansys 11.0. Then results will be compared to actual experiment results. The results of experiment should be within specification of $0 \pm 10 \mu\text{m}$ for slider bar deflection and roughness of less than $50 \mu\text{m}$.

As the result, it is found that the slider deflection and roughness compared between finite element method and new method is within specification and tolerance limit. In addition, new method can reduce one machining operation and processing time by 6.9%



ปริญญาโท
เรื่อง
การลดความเสียหายของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดป่า
ของ
อนุชา นนท์ประสาท

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2552

คณะกรรมการควบคุมปริญญาโท

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชิต บัวแก้ว)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา)

..... กรรมการ

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ชาญ ถนัดงาน)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชิต บัวแก้ว)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ชาญ ถนัดงาน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติชัย รักษาชาติ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชิต บัวแก้ว ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ชาญ ถนัดงาน กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและการใช้ภาษาของปริญญานิพนธ์ รวมทั้งแนวทางดำเนินงานวิจัย การแก้ไขปัญหาต่างๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ จอมขวา ประธานกรรมการสอบปากเปล่า และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติชัย รักษาชาติ กรรมการสอบปากเปล่า ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ให้ความอนุเคราะห์การทดลองกระบวนการตัดปาด และช่วยอำนวยความสะดวกการทดลองสำหรับการวิจัยนี้ รวมถึงการอำนวยความสะดวกโปรแกรม Solidworks2009 และ Ansys11.0

ขอขอบคุณ คุณาอาจารย์ เจ้าหน้าที่ทุกท่านของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ขอขอบคุณ คุณประมาณ จันทรักษา ซึ่งกรุณาแนะนำการวิเคราะห์กระบวนการตัดปาดและเพื่อนนิสิต โครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล รุ่นที่ 3 ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

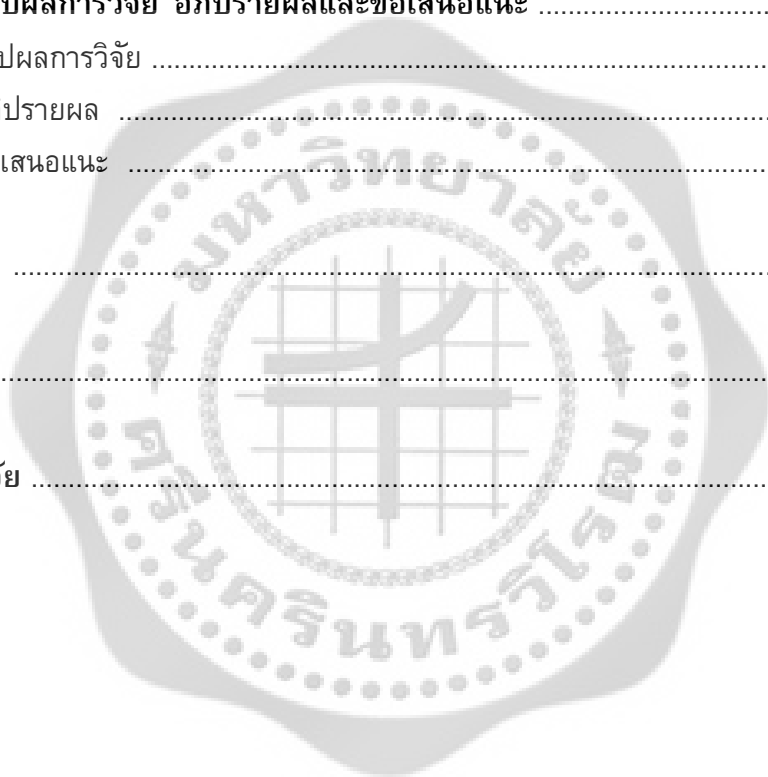
อนุชา นนท์ประสาท

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	นิยามศัพท์	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	วัตถุประสงค์ของกระบวนการตัดปาดสไลเดอร์บาร์	5
	แผ่นเวเฟอร์	5
	การเจียรระไน	7
	สมบัติเชิงกลของวัสดุ Al_2O_3 -TiC	14
	สภาพเงื่อนไขและขอบเขต	15
	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในพิกัดคาร์ทีเซียน	16
	หลักการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	20
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3	วิธีดำเนินการวิจัย	29
	วิธีดำเนินการวิจัยโดยการทดลอง	30
	วิธีดำเนินการวิจัยโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	34
4	ผลการวิจัย	43
	ผลการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมโดย การทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	43
	ผลการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
ผลการเปรียบเทียบกระบวนการตัดป่าดเดิมและกระบวนการตัดป่าดใหม่ โดยการทดลอง	59
5	
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	61
สรุปผลการวิจัย	61
อภิปรายผล	62
ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	67
ประวัติย่อผู้วิจัย	72



บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงสัดส่วนขนาดของผงเพชร	12
2	แสดงสมบัติทางกลของวัสดุอะลูมิเนียมออกไซด์-ไททานเนียมคาร์ไบด์ (Al ₂ O ₃ -TiC)	15
3	แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดเดิม	34
4	แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่	38
5	แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมจากการ ทดลอง.....	45
6	แสดงเงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดเดิมโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	47
7	การเปรียบเทียบผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมโดย การทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	48
8	แสดงเงื่อนไขกระบวนการตัดปาดเดิมด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์	48
9	แสดงเงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยระเบียบ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	49
10	แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบตัด ชนิด 45T	51
11	แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบตัด ชนิด 48T	53
12	แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบ ตัดชนิด 71T.....	56
13	การเปรียบเทียบผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วย ไบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T	58
14	แสดงการเปรียบเทียบผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด ใหม่ของไบตัด 3 ชนิด	58
15	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตัดปาดเดิมและกระบวนการตัด ปาดใหม่ โดยการทดลอง	59

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงรูปฮาร์ดดิสก์	1
2 แสดงแผ่นเวเฟอร์, สไลเดอร์บาร์, สไลเดอร์ (Slider), HGA, และ HSA	2
3 แสดงการใช้เตาหลอมไฟฟ้ากับการหลอมอะลูมิเนียมออกไซด์	5
4 แสดงแร่บ็อกไซต์, ถ่านโค้ก และเศษเหล็กที่ใช้ในการหลอมอะลูมิเนียมออกไซด์	6
5 แสดงอะลูมิเนียมออกไซด์ก่อนทำการบดและร่อน	7
6 การเจียรระไนกับเกรนของสารขัดถู	7
7 ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจียรระไน	8
8 แสดงความหนาแน่นและความแข็งของเพชรธรรมชาติ, เพชรสังเคราะห์ และ คิวบิกโบรอนไนไตรด์	9
9 แสดงสมบัติของเพชรและ CBN	10
10 แสดงระบบของการเจียรระไนผิว	14
11 ความเค้นสามมิติ	16
12 ความเค้นสองมิติ	18
13 ชั้นส่วนภาพได้ภาวะความเครียด	18
14 ชั้นส่วนมิติเดียว	20
15 ชั้นส่วนสองมิติ	21
16 ชั้นส่วนสามมิติ	22
17 ระบบที่ประกอบด้วยสปริง	22
18 แบบจำลองมิติเดียวในรูปของพอลิโนเมียล	23
19 แสดงตำแหน่ง node ที่โหลดเปลี่ยนแปลงขนาด	25
20 แผ่นโลหะบางมีรูกลมตรงกลางและมีโหลดกระทำทั้งสองข้าง	25
21 การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์หาความเข้มของความเค้น	25
22 แสดงขั้นตอนการวิจัย	29
23 แสดงเครื่องตัดและเจียรระไนแผ่นเวเฟอร์	30
24 แสดงใบตัดเพชร	30
25 แสดงแผ่นเวเฟอร์	30
26 แสดงหินลับใบตัด	31

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 แสดงอุปกรณ์จับยึดแผ่นเวเฟอร์	31
28 แสดงล้อเจียรระไน	31
29 แสดงเครื่องวัดความโก่งของสไลเดอร์บาร์	31
30 แสดงใบตัดหลังประกอบกับเครื่องตัด	32
31 แสดงล้อเจียรระไนหลังประกอบ การปรับและตรวจสอบการส่ายของล้อเจียรระไน	32
32 แสดงแผ่นเวเฟอร์ที่ตัดและยึดแผ่นเวเฟอร์กับอุปกรณ์จับยึดเรียบร้อยแล้ว	33
33 แสดงแรงตัดที่กระทำกับแผ่นเวเฟอร์	36
34 แสดงแบบจำลองของแผ่นเวเฟอร์และการบันทึกภาพแบบจำลองในโปรแกรม Solidworks2009	38
35 แสดงโปรแกรม Ansys11.0 หลังเปิดด้วยโปรแกรม Solidworks2009	39
36 แสดงการเลือก new geometry และ Tab [DesignModeler]	39
37 การเลือกคำสั่ง New Plane และ Sketching และการ Sketching บนโมเดล แผ่นเวเฟอร์	40
38 แสดงขั้นตอนการทำ Mesh บนโมเดลแผ่นเวเฟอร์	40
39 แสดงการเพิ่มวัสดุลงในโปรแกรม Ansys11.0	41
40 แสดงการทำการ Fixed support และการกำหนด Load ลงไปในโมเดล	41
41 แสดงการทำงานของโปรแกรม Ansys11.0 และผลของโปรแกรม Ansys11.0	42
42 แสดงภาระที่กระทำต่อชิ้นงานของกระบวนการตัดปาด	42
43 แสดงการกำหนดลักษณะความโก่งของสไลเดอร์บาร์	43
44 แผนภูมิแสดงค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมโดยการ ทดลอง	44
45 แสดงตำแหน่งการวัดความหยابผิวด้านหลังของสไลเดอร์บาร์	44
46 ภาพ 3 มิติของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิม โดยระเบียบวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์	47
47 ภาพ 3 มิติของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	49

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
48 ภาพ 3 มิติของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยการตัดอย่างเดียว โดยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	50
49 แผนภูมิแสดงค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วย ใบตัดชนิด 71T	50
50 แผนภูมิแสดงค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของ ใบตัดชนิด 48T	53
51 แผนภูมิแสดงค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของ ใบตัดชนิด 45T	55
52 แสดงภาพ 3 มิติของแผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดแตกต่างกันด้วยเงื่อนไขการตัดอย่างเดียว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	70



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_0	พื้นที่ของเวเฟอร์ด้านอากาศรองลิ้น	m^2
A_1	พื้นที่ของเวเฟอร์ด้านหลังสไลเดอร์บาร์	m^2
$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$	สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันการกระจัด	-
D	ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเวเฟอร์	m
E	แรงดันไฟฟ้า	Volt
E_0	แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของล้อเจียระไน	Volt
E_1	แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ของใบตัด	Volt
F	แรง	N
F_0	แรงที่กระทำกับแผ่นเวเฟอร์ด้านอากาศรองลิ้น	N
F_1	แรงที่กระทำกับแผ่นเวเฟอร์ด้านหลังสไลเดอร์บาร์	N
$\{f\}$	ฟังก์ชัน	-
I	กระแสไฟฟ้า	Amp
$[I]$	เมทริกซ์เอกลักษณ์	-
$[K]$	เมทริกซ์ค่าความแข็งของระบบ	-
k	ค่าคงที่สปริง	N/m
l	ระยะทางระหว่างจุดจับยึดถึงระยะของแรงที่กระทำกับชิ้นงาน	mm
l_0	ระยะระหว่างจุดจับยึดถึงบริเวณแรงเจียระไนแผ่นเวเฟอร์	mm
l_1	ระยะระหว่างจุดจับยึดถึงบริเวณแรงตัดแผ่นเวเฟอร์	mm
M	โมเมนต์	Nmm
M_0	โมเมนต์ด้านผิวรองลิ้นของสไลเดอร์บาร์	Nmm
M_1	โมเมนต์ด้านผิวด้านหลังของสไลเดอร์บาร์	Nmm
n	ความเร็วรอบของมอเตอร์	rps
<i>Power</i>	กำลังของมอเตอร์	W
P_0	ความดันบนผิวงานด้านการเจียระไน	MPa
P_1	ความดันบนผิวงานด้านการตัด	MPa
r	ระยะรัศมีของล้อเจียระไนหรือใบตัด	mm
r_0	ระยะรัศมีของล้อเจียระไน	mm
r_1	ระยะรัศมีของใบตัด	mm

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
s	อัตราป้อน	m/min
s_0	อัตราป้อนของกระบวนการเจียระไน	m/min
s_1	อัตราป้อนของกระบวนการตัด	m/min
T	แรงบิด	Nm
T_0	แรงบิดมอเตอร์ของล้อเจียระไน	Nm
T_1	แรงบิดมอเตอร์ของใบตัด	Nm
t	เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาด	min
u	ระยะกระจัดตามเส้น	mm
$\{u\}$	เวกเตอร์การกระจัด	-
X	จำนวนครั้งในของกระบวนการเจียระไนหรือการตัด	ครั้ง
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$	ความเครียดในแนวแกน	-
γ	ความเครียดเฉือน	-
η	ประสิทธิภาพของมอเตอร์	-
$ \sigma $	ความเค้นเทนเซอร์	N/mm ²
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	ความเค้นในแนวแกน	N/mm ²
α, β	มุม	degree
$\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yx}$	ความเค้นเฉือนในแนวแกน	N/mm ²
$\tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$		

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

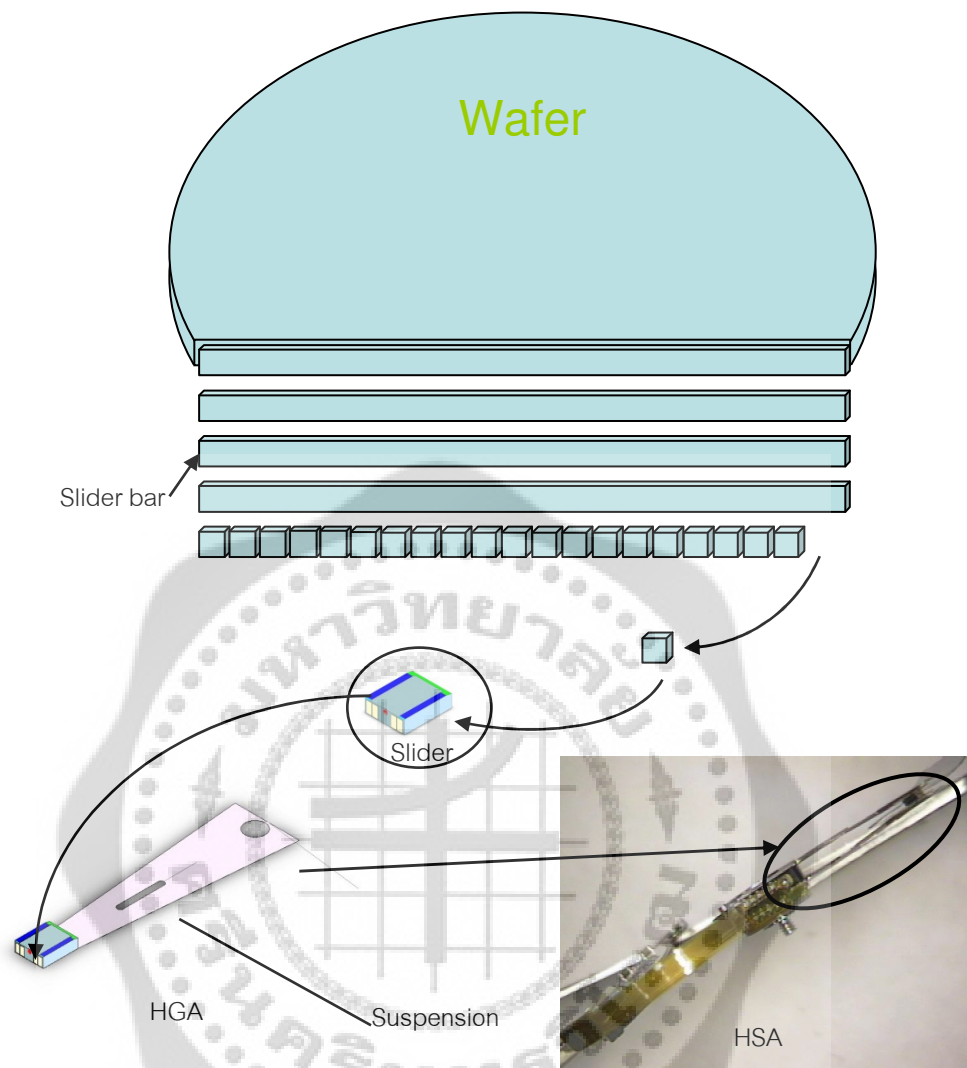
คอมพิวเตอร์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนอุปกรณ์ เรียกว่า “ฮาร์ดแวร์ (Hardware)” และส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือชุดคำสั่ง เรียกว่า “ซอฟต์แวร์ (Software)” ซึ่งจะทำงานเป็นขั้นเป็นตอนตามคำสั่งของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) เป็นฮาร์ดแวร์ที่มีความสำคัญในการช่วยการเก็บข้อมูลถาวร ที่มีขนาดความจุสูงถึงหน่วยเมกะไบต์ (Megabytes) จนถึง เทราไบต์ (Terabyte) ในขณะที่งานจะใช้ความเร็วรอบที่สูง และในกระบวนการการผลิตฮาร์ดดิสก์จะต้องใช้กระบวนการผลิตที่หลากหลายแขนงวิชามาประกอบกัน



ภาพประกอบ 1 แสดงรูปฮาร์ดดิสก์

หัวอ่าน/เขียน (Slider Head) ทำหน้าที่เขียนข้อมูลลงไปบนแผ่นดิสก์ในกรณีที่ทำการบันทึกข้อมูล และจะทำการอ่านข้อมูลจากแผ่นดิสก์เมื่อทำการเปิดแฟ้มข้อมูลเพื่อทำงาน ปัจจุบันหัวอ่าน/เขียนมีขนาดเล็กลงจากเดิมมาก แต่มีสมรรถนะสูงสามารถดูได้จากความจุของตัวอักษรต่อพื้นที่ (Byte/in^2 , Mbyte/in^2 , Gbyte/in^2 หรือ Tbyte/in^2) ขณะที่ทำงานหัวอ่าน/เขียนจะไม่สัมผัสกับจานฮาร์ดดิสก์ แต่จะอาศัยแรงกระพือของแรงลมที่อยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์ช่วยให้ยกหัวอ่าน/เขียนให้ลอยตัว การลอยตัวของหัวอ่าน/เขียนนี้มีความสูงประมาณ $0.0762\text{-}0.127 \mu\text{m}$ เท่านั้น



ภาพประกอบ 2 แสดงแผ่นเวเฟอร์, สไลเดอร์บาร์, สไลเดอร์ (Slider), HGA, และ HSA

ในกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์เดิมที่เทคโนโลยีพีโค เวเฟอร์มีขนาดความหนาเท่ากับ 1.25 mm และสไลเดอร์บาร์มีความหนาเท่ากับ 0.3175 mm ซึ่งไม่พบปัญหาความโก่ง (Deflection) ของสไลเดอร์บาร์ แต่ในกระบวนการผลิตเทคโนโลยีเฟมโต ที่มีขนาดความหนาของเวเฟอร์เท่ากับ 0.85 mm และ สไลเดอร์บาร์หนาเท่ากับ 0.25 mm ในกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นสไลเดอร์บาร์ พบปัญหาอย่างหนึ่งที่น่าสนใจคือ ความโก่งของสไลเดอร์บาร์ประมาณ $-35 \mu\text{m}$ ซึ่งการเกิดความโก่งดังกล่าวนี้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตลำดับต่อไป คือกระบวนการขัด (Lapping Process) ดังนั้นกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์ ต้องมีการควบคุมความโก่งของสไลเดอร์บาร์ โดยมีค่าการควบคุมเท่ากับ $0 \pm 10 \mu\text{m}$ นอกจากความโก่งที่ต้องควบคุมแล้ว ยังต้องมีการควบคุมค่าการตัดให้ตรง, ค่าความขนานของสไลเดอร์บาร์, การแตก และการร้าวของสไลเดอร์บาร์อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 วิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดโดยการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 2.2 ปรับปรุงกระบวนการตัดปาดสไลเดอร์บาร์
- 2.3 เปรียบเทียบความโค้ง, ความหยาบผิว และเวลาระหว่างกระบวนการตัดปาดก่อนและหลังปรับปรุง

3. ขอบเขตของการวิจัย

- 3.1 สไลเดอร์บาร์สำหรับงานวิจัยนี้มีขนาด 0.85 x 152.4 x 0.25 mm ทำจากวัสดุอะลูมิเนียมออกไซด์-ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (Al_2O_3-TiC)
- 3.2 ไบต์ดที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้มีส่วนผสมของผงเพชร มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ
 - 3.2.1 ไบต์ดชนิดความหนา 71T ขนาด SD1000 112OD x 71T x 88.9ID mm
 - 3.2.2 ไบต์ดชนิดความหนา 48T ขนาด SD1200 112OD x 48T x 88.9ID mm
 - 3.2.3 ไบต์ดชนิดความหนา 45T ขนาด SD1000 112OD x 45T x 88.9ID mm
- 3.3 ไบเจียร์ไนท์ที่มีส่วนผสมของกากเพชร ขนาด SD2000 203OD x 2T x 199ID mm
- 3.4 เงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดเดิมสำหรับการวิจัยคือ ความเร็วรอบ, อัตราป้อน และความลึกในกระบวนการเจียรไนซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,000 rpm, 0.457 m/min และ 0.0102 mm ตามลำดับ และความเร็วรอบ, อัตราป้อน และความลึกในกระบวนการตัดมีค่าเท่ากับ 9,000 rpm, 0.254 m/min และ 2.16 mm ตามลำดับ
- 3.5 ค่าความผิดพลาดของความโค้งของสไลเดอร์บาร์ที่สามารถยอมรับได้จะต้องน้อยกว่า $0 \pm 10 \mu m$
- 3.6 ค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์หลังกระบวนการตัดปาดจะต้องน้อยกว่า $50 \mu m$
- 3.7 กำหนดเงื่อนไขในกระบวนการตัดปาดเดิมและใหม่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้
 - 3.8.1 อัตราป้อนในกระบวนการตัดปาดที่เท่ากันทุกช่วง
 - 3.8.2 ไบต์ดและล้อเจียรไนท์ที่ใช้ มีอัตราส่วนผสมที่สม่ำเสมอ
 - 3.8.3 ชิ้นงานมีการจับยึดที่มั่นคงในขณะที่ทำการตัดปาด
 - 3.8.4 น้ำหล่อเย็นที่ใช้มีอุณหภูมิคงที่คือ $22^\circ C$ ตลอดกระบวนการตัดปาด

4. นิยามศัพท์

- 4.1 สไลเดอร์ (Slider) หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านและเขียนบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งใช้หลักการทางแม่เหล็ก

4.2 แผ่นเวเฟอร์ (Wafer) หมายถึงวัสดุแผ่นกลมซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 mm ซึ่งภายในของแผ่นเวเฟอร์จะมีสไลเดอร์บรรจุอยู่มากกว่าหมื่นตัวต่อหนึ่งแผ่นเวเฟอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของสไลเดอร์ และสไลเดอร์จะเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ

4.3 ซับสเตรท (Substrate) หมายถึงวัสดุส่วนใหญ่ของแผ่นเวเฟอร์ ซึ่งทำมาจากอะลูมิเนียมออกไซด์-ไทเทเนียมคาร์ไบด์ ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) ที่มีสมบัติแข็งแต่เปราะ

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 3.1 ลดการสูญเสียของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด
- 3.2 เพิ่มผลผลิตของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด
- 3.3 เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตัดปาดสไลเดอร์บาร์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วัตถุประสงค์ของกระบวนการตัดปาดสไลเดอร์บาร์

กระบวนการตัดปาดแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นสไลเดอร์บาร์มีวัตถุประสงค์ 4 ประการ ได้แก่

- 2.1 ควบคุมการตัดให้มีความตรง
- 2.2 ควบคุมความหนาของสไลเดอร์บาร์
- 2.3 ควบคุมขนาดรอยแตกและรอยร้าวของสไลเดอร์บาร์
- 2.4 ควบคุมความโค้งของสไลเดอร์บาร์

ค่าการควบคุมความโค้งของสไลเดอร์บาร์คือ $0 \pm 10 \mu\text{m}$ ค่าความโค้งนี้จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตต่อไปคือ กระบวนการขัดสไลเดอร์บาร์

2. แผ่นเวเฟอร์ (Wafer)

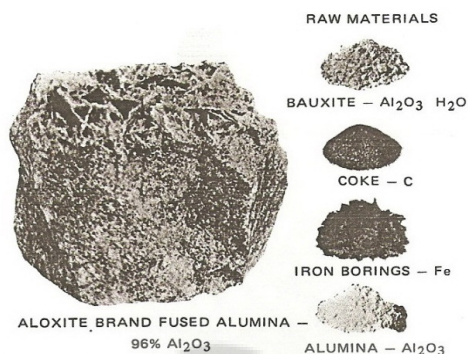
แผ่นเวเฟอร์ทำมาจากอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งได้จากการหลอมละลายแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) เตาหลอมไฟฟ้าที่ใช้โดยทั่วไปจะต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความเค้นและความเครียดสูง ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงการใช้เตาหลอมไฟฟ้ากับการหลอมอะลูมิเนียมออกไซด์

ในการผลิตแร่บ็อกไซต์หรือ สารคล้ายดินเหนียวที่มีสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์มาก นั้น ขั้นแรกจะต้องเผาวัสดุให้เป็นผง (ให้ความร้อนด้านนอกจนกระทั่งละลาย) เพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นนำวัสดุไปผสมกับถ่านหินและแร่เหล็ก ดังภาพประกอบ 4 ในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วใส่ลงไป ในเตาหลอมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $7\frac{1}{2}$ ฟุต และสูงประมาณ 6 ฟุต ดังภาพประกอบ 3 ด้านล่างของเตาหลอมเป็นสายการผลิตและอิฐคาร์บอน เมื่อเตาหลอมทำงานประจุซึ่งอยู่ในชั้นวัสดุที่

อยู่ติดกัน (ออกไซด์, ถ่านหิน, และเหล็ก) จะกระทบกัน เตาหลอมที่ดีจะต้องป้องกันความร้อนจากประกายไฟที่รุนแรงในระหว่างการผลิตได้



ภาพประกอบ 4 แสดงแร่บ็อกไซต์, ถ่านโค้ก และเศษเหล็กที่ใช้ในการหลอมอะลูมิเนียมออกไซด์

เมื่อเติมส่วนผสมให้เต็มครึ่งของเตาหลอม ขั้วไฟฟ้าสองหรือสามขั้วจะลดลงมาสัมผัสด้านบนสุดของชั้นวัสดุ ปริมาณพลังงานประจุเริ่มต้นการใช้ที่บริเวณถ่านหิน ถ่านหินถูกให้ความร้อนที่เร็วจนกระทั่งลุกโชติ ซึ่งเมื่อเริ่มทำการหลอมละลายจนกระทั่งทำให้แร่บ็อกไซด์ได้รับความร้อนที่รุนแรงจากกระแสไฟฟ้า (ประมาณ $3,700^{\circ}\text{F}$) จะเกิดการหลอมละลายของแร่บ็อกไซด์และยังเป็นการลดความไม่บริสุทธิ์ของแร่บ็อกไซด์อีกด้วย ซึ่งความไม่บริสุทธิ์นี้จะไปรวมกับการหลอมละลายเหล็กและถูกกำจัดออกไปโดยการแยกลงไปที่ด้านล่างของเตาหลอม

และเมื่อเพิ่มส่วนผสมทางด้านบนของเตาหลอม จนกระทั่งเต็มชั้นโดยใช้เวลาการหลอมละลายในแต่ละชั้นของแร่บ็อกไซด์อยู่ระหว่าง 16 ถึง 36 hr. กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและลดลงโดยอัตโนมัติเพื่อรักษากำลังให้คงที่ และกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งกระบวนการหลอมละลายเสร็จสมบูรณ์ หลังจากนั้นเตาหลอมจะถูกทำให้เย็นตัวลง และก้อนโลหะหลอมละลายของอะลูมิเนียมออกไซด์จะถูกนำออกมาแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงในสภาวะอากาศที่ปรกติซึ่งใช้เวลาหลายวัน จากนั้นทำการลอกก้อนโลหะออกจากถ่วงด้านนอกและทำให้แตกเป็นก้อนเล็ก ด้วยการนำไปใส่เครื่องบด จากนั้นทำการบดวัสดุ ล้างและคัดขนาด ดังภาพประกอบ 5

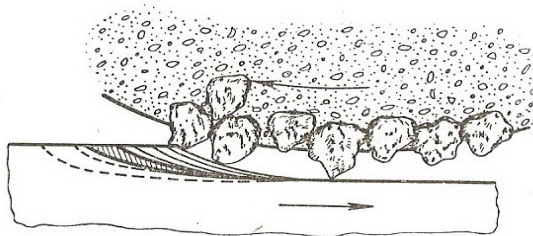


ภาพประกอบ 5 แสดงอะลูมิเนียมออกไซด์ก่อนทำการบดและร่อน

ในกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมออกไซด์จะใช้ประกายกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงต้องเอียงเตาหลอมทุกๆสามถึงสี่ชั่วโมง อะลูมิเนียมที่ได้จากการหลอมละลายจะถูกเทลงในแม่พิมพ์ที่แข็งมาก การเย็นตัวลงอย่างช้าๆจะได้ผลึกขนาดใหญ่ แต่ถ้าทำให้เย็นตัวลงในอ่างน้ำเย็น สำหรับการเย็นตัวที่รวดเร็วทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่ละเอียด เมื่อวัสดุเย็นตัวลง จะถูกทำให้แตกด้วยการบดและจะได้ขนาดเกรนที่มีความแตกต่างกัน

3. การเจียรระไน

กระบวนการเจียรระไนเป็นกระบวนการที่เข้าใจง่ายมากๆ ความสัมพันธ์กับกรีทของสารขัดถู (อนุภาคที่แข็งและมีขอบที่คม) ซึ่งผสมลงไปหล่อเจียรระไน ที่หมุนด้วยความเร็วสูง และขนาดของเกรนที่มีขนาดไม่เท่ากัน เพราะฉะนั้นทำให้เกรนขนาดใหญ่จะกระแทกกับผิวชิ้นงานที่ตำแหน่งศูนย์กลางหรือในทำนองเดียวกันมุมเอียงที่เป็นลบ ความสำคัญของกระบวนการนี้มีความสัมพันธ์กับความลึกการเจียรระไนสามารถเปลี่ยนแปลงทรงเรขาคณิตได้เหมือนกระบวนการทางกลอื่นๆ เช่น การเจียรระไนผิวบางร่วมกับเพลลาหมุนแนวนอน, การเจียรระไนผิวกับเพลลาหมุนแนวตั้ง, การเจียรระไนทรงกลม, การเจียรระไนภายใน, การเจียรระไนวงกลมเล็ก และการเจียรระไนแบนราบ

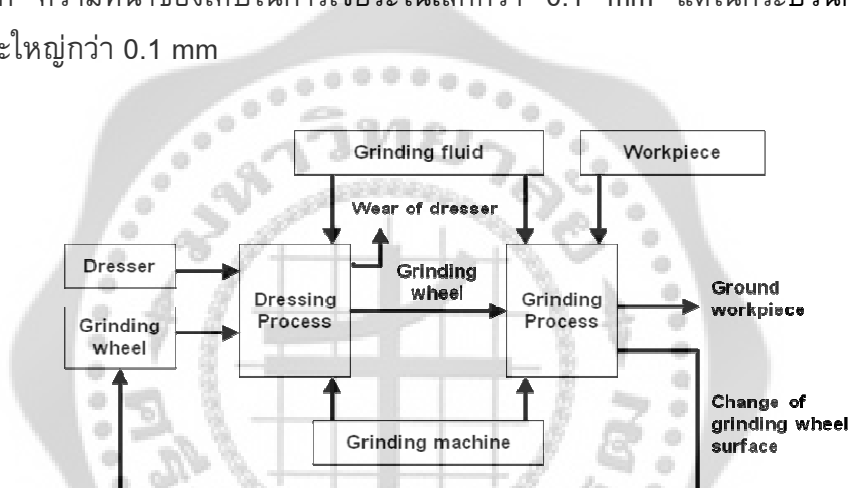


ภาพประกอบ 6 การเจียรระไนกับเกรนของสารขัดถู

พื้นฐานของการเจียรไน

วิธีการนำวัสดุออกจากการเจียรไน

การเจียรไนคือตัวแทนของกระบวนการขัดถู ซึ่งล้อเจียรไนทำมาจากสารขัดถูและสารประสานวัสดุที่ใช้กับล้อเจียรไนที่มีเงื่อนไขเช่น การปรับแต่งและการลับใบตัดบนเครื่องเจียรไน ก่อนที่จะทำการเจียรไน เป็นลักษณะเฉพาะของการเจียรไน เงื่อนไขของกระบวนการเจียรไนมีอิทธิพลต่อความสามารถของการเจียรไน วิธีการนำวัสดุออกจากขอบตัดสารขัดถูบนผิวล้อเจียรไนเหมือนกันกับพื้นฐานการตัดด้วยเครื่องมือตัดในเครื่องตัดโลหะ ตัวอย่างเช่น วัสดุถูกนำออกมาโดยผ่านการเฉือน หลักการในกระบวนการนำวัสดุออกมานั้น ต้องคำนึงถึงขนาดของเศษเจียรไนที่จะถูกนำออกมาด้วย อย่างไรก็ตาม การเตรียมการตัดและกรรมวิธีที่ดีจะทำให้ได้สภาพผิวสุดท้ายของวัสดุมีขนาดเล็ก ความหนาของเศษในการเจียรไนเล็กกว่า 0.1 mm แต่ในกระบวนการตัดความหนาของเศษจะใหญ่กว่า 0.1 mm

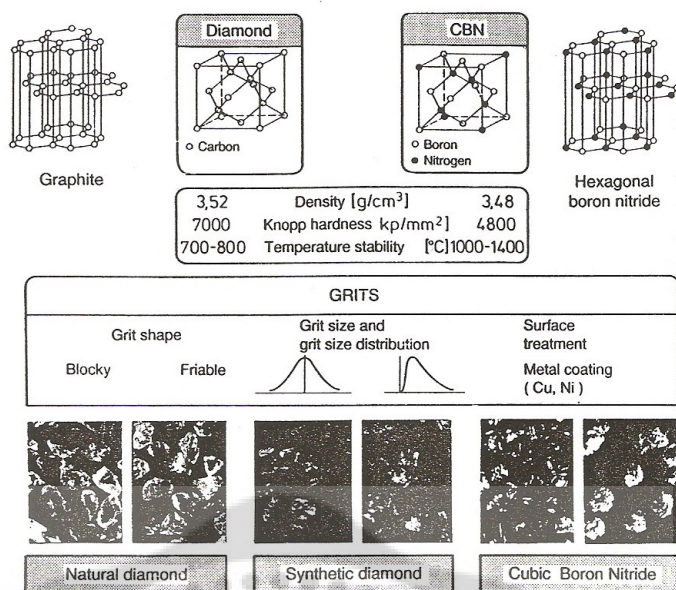


ภาพประกอบ 7 ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจียรไน

การออกแบบล้อเจียรไน

วัสดุสารขัดถู

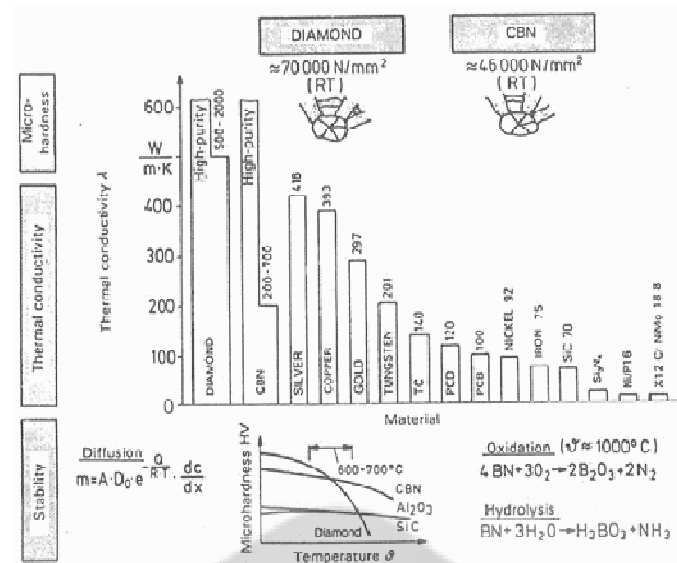
เกณฑ์ที่สำคัญสำหรับสารขัดถูคือ ความแข็งของวัสดุชิ้นงาน เมื่อเปรียบเทียบความแข็งระหว่างเซรามิกกับวัสดุเมทาลิก แสดงว่า อนุภาคเพชรมีความแข็งที่เหมาะสมสำหรับเซรามิก เพชรสังเคราะห์ถูกผลิตโดยการเปลี่ยนแปลงตาข่ายจากโครงสร้างชั้นแลตติค 6 เหลี่ยมอ่อนของกราฟไฟต์ โดยพิจารณาจากการเพิ่มความหนาแน่นและการเพิ่มความแข็ง



ภาพประกอบ 8 แสดงความหนาแน่นและความแข็งของเพชรธรรมชาติ, เพชรสังเคราะห์ และคิวบิกโบรอนไนไตรด์

จากรูปร่างภายนอกของเพชรที่แตกต่างกันนี้ โดยพื้นฐานแล้วผลึกเกิดขึ้นจากรูปลูกบาศก์และรูปแปดเหลี่ยมรวมกัน รูปร่างพื้นฐานนี้อาจจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรสังเคราะห์ กระบวนการสังเคราะห์จะควบคุมขนาดและรูปร่างของเพชร และการเกิดกริทรูปร่างกล่องจะส่งผลให้เกิดความแข็งที่สูงมากขึ้น เช่นเดียวกับกับกริที่เปราะจะส่งผลให้ความแข็งต่ำลง เพชรถูกแบ่งตามขนาดของกริทและการจำแนกขนาดของกริท

พฤติกรรมการส่งผ่านความร้อนระหว่างเพชร, พันธนาการ และชนิดของสารประสานในพันธนาการเป็นตัวสำคัญในการประสานเพชร ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ทองแดงผสมหรือนิกเกิลผสมฟอสฟอรัส ตัวนำความร้อนคือปริมาณทางกายภาพที่สำคัญ ดังภาพประกอบ 9 ซึ่งขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของเพชร ดังนั้นตัวนำความร้อนของเพชรบริสุทธิ์จะสูงประมาณ 2000 W/mK ซึ่งสูงกว่าตัวนำความร้อนของวัสดุอื่นๆ เพชรสังเคราะห์ใช้สำหรับการเจียระไนที่มีการนำความร้อนที่สูงกว่าเงินหรือทองแดง



ภาพประกอบ 9 แสดงสมบัติของเพชรและ CBN

พื้นฐานในการใช้สารประสานโลหะที่สมบูรณ์มี 2 วิธี วิธีแรกโครงสร้างภายนอกสามารถมีความแตกต่างกัน, ความเหนียว, ความหยาบ หรือโครงสร้างผิวที่แหลมคมสม่ำเสมอ หลักการทำเชิงกลที่ดีของกรีทในพันธนาการเรซิน วิธีที่สองคือชั้นฟอสฟอรัสไนเจลมีตัวนำความร้อนค่อนข้างต่ำกว่าเพชร ดังนั้นประสิทธิภาพการนำความร้อนที่แตกต่างกันของระบบ แสดงให้เห็นว่า กรีทสามารถควบคุมผลการทำงานให้สัมพันธ์กับระยะเวลาความกว้างได้

เพชรเป็นวัสดุตัดที่แข็ง โดยความแข็งมากขึ้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิประมาณ 400°C ในขณะรวมตัวกับออกซิเจน ณ บรรยากาศ ภาพประกอบ 9 ที่อุณหภูมิสูง ตาข่ายเพชรถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นชั้นตาข่าย 6 มุม ปัจจัยนี้มีความสำคัญลำดับต้นๆต่ออุณหภูมิที่สูงเกินของเพชร จึงต้องเตรียมน้ำหล่อเย็นหรือน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม รายละเอียดในส่วนของสมบัติของตัวแปรในกระบวนการผลิตอื่นที่เป็นอันตรายจากอะตอมคาร์บอนของกราฟไฟต์บางส่วน อาจจะแพร่กระจายลงไปในชิ้นงานและเป็นสาเหตุการสึกหรอทางเคมี ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางเคมีกับชิ้นงานมากกว่าปฏิกิริยาทางพลังงาน

การเจียรในหยาบ

สิ่งสำคัญที่สุดในการเจียรในหยาบคือชั้นตอนที่แตกต่างกัน และในขั้นตอนของการเจียรในครั้งสุดท้ายจะต้องได้สภาพผิวของวัสดุที่ดีกว่าขั้นตอนในการเจียรในครั้งแรกเสมอ สิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ

- ต้องใช้พลังงานที่ต่ำในการนำวัสดุออกต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
- ต้องใช้แรงน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนปริมาตรของวัสดุที่นำออก
- ต้องมีการสึกหรอที่ต่ำเป็นพิเศษ

ข้อกำหนดของล้อยีระไน

ในการบรรลุวัตถุประสงค์ของการเจียระไน ล้อยีระไนที่ใช้สำหรับเจียระไนวัสดุที่ทำมาจากเซรามิคเปราะจะต้องมีข้อกำหนดพื้นฐานทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ การออกแบบล้อยีระไนและการออกแบบล้อยีระไนละเอียด

การออกแบบล้อยีระไนหยาบ

พื้นฐานของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตล้อยีระไน มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงดังต่อไปนี้

- ชั้นส่วนรูปทรงเรขาคณิต
- ขนาดที่ต้องการ, ความคมและตำแหน่งที่ถูกต้อง
- คุณภาพผิวของวัสดุ

ตัวแปรสำหรับเครื่องจักรที่ต้องคำนึงถึงมีดังต่อไปนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อยีระไน
- สารประสาน
- ผงเพชร

การออกแบบล้อยีระไนละเอียด

ในการออกแบบล้อยีระไนละเอียดเป็นการค้นหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ของล้อยีระไน โดยอาศัยสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- การเจียระไนในขั้นตอนสุดท้ายคือ การทำให้ผิวหน้าของวัสดุมีขนาดเล็กที่สุดโดยการเจียระไน

- การเจียระไนหยาบคือ สิ่งที่ได้จากความสามารถของกระบวนการแตกหัก

ตัวแปรหลักนี้เป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีการผลิต (เช่น การเจียระไนป้อนเลื่อย, การเจียระไนไปมา, การเจียระไนขึ้นหรือลง, การเจียระไนที่ความเร็วสูง) รวมทั้งตัวแปรนำหล่อเย็นหรือน้ำมันหล่อลื่น เพื่อใช้สำหรับเป็นเป้าหมายที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกเพชรซึ่งได้แก่

- ชนิดของผงเพชร
- ขนาดของผงเพชร
- ความเข้มข้นของผงเพชร

ตาราง 1 แสดงสัดส่วนขนาดของผงเพชร

สัดส่วนขนาดของผงเพชร	
ชื่อขนาดของผงเพชร	ช่วงขนาดของผงเพชร (μm)
400	40 - 60
500	30 - 40
600	20 - 30
700	12 - 25
800	10 - 20
1000	8 - 16
1200	6 - 12
1500	5 - 10
2000	4 - 8
2500	4 - 6
3000	2 - 6
4000	2 - 4

ขนาดผงเพชร

ขนาดผงเพชรมีอิทธิพลต่อคุณภาพผิว พฤติกรรมการสึกหรอและการเกิดแรงเฉื่อยระไนในกระบวนการตัด พบว่าในการเคลื่อนที่ไปมาบนผิวเฉื่อยระไนด้วยอัตราป้อนสูงขึ้นไปเล็กน้อยจนถึง 0.1 mm จะเท่ากับการใช้ขนาดผงเพชรที่ละเอียดมีผลทำให้ได้คุณภาพผิวที่ดี เงื่อนไขนี้เป็นการเฉื่อยระไนป้อนกลับของ HPSN กับล้อเฉื่อยระไนพันธนาการเฟโนลิก ขนาดผงเพชรที่ใหญ่จะใช้แรงการเฉื่อยระไนสูงกว่า เป็นเพราะผงเพชรที่ใหญ่สามารถรักษาความแข็งแรงได้มากกว่าในพันธนาการ และจากการสึกหรอในแนวราบที่มากกว่า มีอิทธิพลกับการสึกหรอบนแรงเฉื่อยระไนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัด ดังนั้นความแข็งแรงที่ค่อนข้างสูง และการลดจำนวนของการตัดขอบรวมไปถึงการเพิ่มขนาดของผงเพชรมีผลต่อพฤติกรรมการเฉื่อยระไน ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบตัดที่ยื่นมากกว่าสารประสาน ความคมของผงเพชรที่ยื่นเป็นตัวชี้ถึงการสึกหรอและแรงเฉื่อยระไนที่จะเกิดขึ้น การกระทำที่ไม่เหมาะสมกับวัสดุและตัวแปรเชิงกลจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของวัสดุ

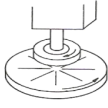
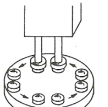
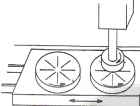
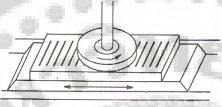


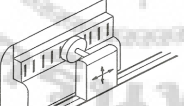
การเลือกขนาดผงเพชรที่เหมาะสมจะส่งผลโดยตรงต่อวัสดุด้วย ตัวอย่างเช่นวัสดุเซรามิกถูกทำขึ้นด้วยเครื่องจักรและการทำกระบวนการต่างๆ เกี่ยวกับการแตกหัก จะทำให้มีการสึกหรอเร็วขึ้นขณะทำการตัด หมายความว่าแรงการเฉื่อยระไนรวมที่น้อยกว่าจะเกิดกับขนาดผงเพชรที่ใหญ่กว่า ซึ่งถูกแสดงให้เห็นในการเฉื่อยระไนเซอร์คอนออกไซด์เปรียบเทียบกับ HPSN และ SiC

ความเข้มข้นของผงเพชร

ในการเพิ่มจำนวนผงเพชรเป็นสาเหตุของการเพิ่มแรงที่จุดตัด การลดความยาวเฉลี่ยจากขอบตัดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งรวมถึงการลดเศษความหนาเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขกลศาสตร์เชิงกลเดียวกัน ผลที่ได้คือการลดแรงต่อหนึ่งผงเพชร

อย่างไรก็ตาม ไม่ได้หมายถึงความเข้มข้นของผงเพชรที่มีขนาดใหญ่กว่าจะได้รับผลการทำงานที่ดีกว่าเสมอ ปริมาตรความเข้มข้นจะต้องถูกปรับให้เหมาะกับการใช้งานของเครื่อง

การเจียรไนไปมากกับการเพิ่มอัตราป้อนเพียงเล็กน้อย มีผลกระทบน้อยกว่าความเข้มข้นของผงเพชรซึ่งมีผลกระทบในการชนของแรง คุณภาพผิวสังเกตได้ในการเจียรไนด้านหน้าผิวสัมผัสที่กว้างในระหว่างการเจียรไนผิว ในการเจียรไนผิวเซรามิค พบว่าปริมาณความเข้มข้นของผงเพชรมีการปรับตัวตามวัสดุงานด้วย ในการเจียรไน HPSN มีการพิจารณาการเพิ่มแรงกับการเพิ่มความเข้มข้นของผงเพชรจาก C50 ไปจนถึง C100 แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ดีเท่ากับการยึดรัศมีของจุดตัด คำแนะนำนี้กล่าวถึงจุดตัดเป็นจุดหลักในการเพิ่มแรง ล้อเจียรไนที่มีความเข้มข้นของผงเพชรสูงเฉพาะนั้นไม่เหมาะกับการเจียรไน HPSN กับ Si-SiC ซึ่งมีแนวโน้มที่จะแตกหักง่ายมาก ภาระทางความร้อนบนส่วนประกอบชิ้นการเจียรไนที่ต่ำกว่าจะมีการสึกหรอในแนวราบน้อยกว่า ในการเพิ่มแรงการเจียรไนรวมเล็กน้อยเหมือนกับการเพิ่มความเข้มข้นของผงเพชรขึ้น ในตัวอย่างนี้หมายถึงความเข้มข้นของผงเพชรที่สูงกว่าเป็นสาเหตุแรงต้านของผงเพชรเดี่ยวต่ำกว่า ดังนั้นในการเพิ่มความเข้มข้นของผงเพชรควรพิจารณาถึงการสึกหรอด้วย

ตำแหน่งมอเตอร์หมุน	ตารางการเคลื่อนไหว	แผนภาพ	การพิจารณาลักษณะและการใช้งาน
ทิศทางแนวดิ่ง	การหมุน ตาราง ตำแหน่ง	คงที่	 การใช้มีวนำเจียรระไนมากที่สุดกับช่วงความกว้างของการใช้ที่มีความแตกต่างกันและสามารถดัดแปลงการใช้งานที่หลากหลาย การทำงานด้วยการจับยึดด้วยแม่เหล็กทั่วไป แม้กระทั่งการใช้กับโต๊ะเครื่องจักรและกลไกการจับยึดงาน
		เคลื่อนที่	 การพัฒนาแบบพิเศษสำหรับชิ้นงานเล็กๆ เพื่อการเจียรในผิวชนิดโต๊ะหมุนเป็นวิธีการที่เหมาะสมมาก อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนต่อไปคือต้องการกระบวนการผลิตที่สมบูรณ์
		อื่นๆ	 ออกแบบสำหรับงานที่ต้องการการเจียรในผิวหมุน แต่ใช้เวลาในการทำงานด้วยใน fixture พิเศษ โดยเลือกโต๊ะหมุนสองทางในบริเวณติดตั้งและตำแหน่งการเจียรในของกระบวนการเจียรในจริงสามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง
	เส้นขวางแนว สองทิศทาง	 ชิ้นงานกับผลลัพธ์รูปร่างทั่วไปทำให้เส้นตามแนวยาวเป็นกระบวนการที่มีผลในทิศทางเคลื่อนที่ เช่น ชิ้นส่วนที่ต้องการเปลี่ยนแปลงโต๊ะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า ซึ่งผิวโต๊ะที่ผ่านบริเวณเจียรระไนใช้งานได้ดี	
ระบบพิเศษ - โต๊ะคงที่และหัว ล้อแกว่ง	 แทนการแปลงบางส่วนของระบบการเจียรระไนผิวทั้งสองส่วน การใช้งานเหมือนกัน แต่ได้รับผลในทิศทางตรงกันข้ามกับวิธีเส้นขวางทั้งสองทิศทาง		
ทิศทางแนวเอียง	เส้นขวางแนว สองทิศทาง	 สำหรับระยะทางที่ยาว ชิ้นงานที่มีความบาง เช่น เครื่องผ้า ซึ่งง่ายต่อการจับยึดและความลาดชันน้อยเมื่อยึดติดในแนวตั้งกับผิวโต๊ะงาน	
	คงที่ - โต๊ะคงที่ และหัวล้อแกว่ง	 การใช้งานเหมือนกับชนิดก่อน ระบบไม่ถูกใช้บ่อยนัก ซึ่งประโยชน์สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ๆ ทั้งสองด้านบนแนวโต๊ะงานที่น่าจะต้องการความกว้างของพื้นที่ที่ยึดออกไป	

ภาพประกอบ 10 แสดงระบบของการเจียรระไนผิว

4. สมบัติเชิงกลของวัสดุ Al_2O_3-TiC

ในการศึกษานี้ค่าสมบัติวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำแผ่นเวเฟอร์นี้เป็นวัสดุผสมพิเศษเฉพาะเท่านั้น ในตาราง 2 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุอะลูมิเนียมออกไซด์-ไททาเนียมคาร์ไบด์ (Al_2O_3-TiC)

ตาราง 2 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุอะลูมิเนียมออกไซด์-ไททาเนียมคาร์ไบด์ ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$)

Properties of material	หน่วย	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$
Density	kg/m^3	4,300
Poisson's Ratio	-	0.22
Young's Modulus	Pa	3.9×10^{11}
Specific Heat	$\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	880
Thermal Conductivity	$\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	6,302
Resistivity	$\text{Ohm} \cdot \text{m}$	20,000

5. สภาพเงื่อนไขและขอบเขต

สภาพเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยเงื่อนไขการจับยึด และภาระที่กระทำกับชิ้นงาน ซึ่งภาระที่กระทำกับชิ้นงานด้านผิวรองลื่นอากาศจะถูกเจียระไนด้วยล้อเจียระไนและแรงเฉือนทางด้านหลังของสไลเดอร์บาร์ที่ถูกกระทำด้วยใบตัด เมื่อทำการพิจารณาถึงแรงที่กระทำกับชิ้นงาน จึงเลือกใช้สภาวะนี้ในการคำนวณหาภาระความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น

ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน อันเป็นผลมาจากการเจียระไนและการตัดเนื้อดังกล่าวได้มาจากการคำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

การคำนวณหากำลังของมอเตอร์จากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

$$Power (W) = EI\eta$$

เมื่อ $Power$ = กำลังของมอเตอร์หน่วยเป็นวัตต์ (W)

E = แรงดันไฟฟ้าหน่วยเป็นโวลต์ (Volt)

I = กระแสไฟฟ้าหน่วยเป็นแอมแปร์ (Amp)

η = ประสิทธิภาพของมอเตอร์

การคำนวณหาแรงบิดจากมอเตอร์

$$T = \frac{Power}{(2\pi n)}$$

โดย T = แรงบิด (Torque) หน่วยเป็นนิวตันเมตร (Nm)
 $Power$ = กำลังของมอเตอร์ (Power motor) หน่วยเป็นวัตต์ (W)
 n = ความเร็วของมอเตอร์หน่วยเป็นรอบต่อวินาที (rps)

การคำนวณหาแรงที่กระทำกับชิ้นงาน

สูตร $T = Frs$

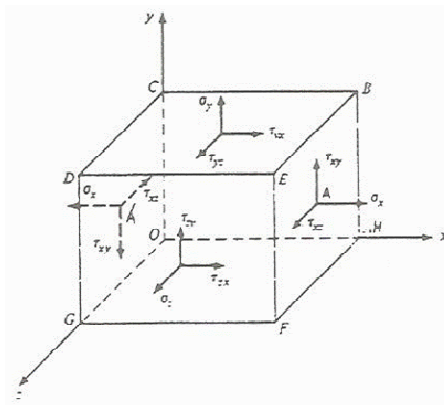
เมื่อ F = แรงหน่วยเป็นนิวตัน (N)
 r = รัศมีของล้อเจียระไนหรือใบตัดหน่วยเป็นเมตร (m)
 s = อัตราป้อนหน่วยเป็นเมตรต่อนาที (m/min)
 l = ระยะทางระหว่างจุดจับยึดถึงระยะของแรงที่กระทำกับชิ้นงาน (mm)

การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในกระบวนการ

สูตร $t = \frac{DX}{s}$

เมื่อ t = เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดหน่วยเป็นนาที (min)
 D = ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของเวเฟอร์หน่วยเป็นเมตร (m)
 s = อัตราป้อนหน่วยเป็นเมตรต่อนาที (m/min)
 X = จำนวนครั้งในกระบวนการเจียระไนหรือการตัด (ครั้ง)

6. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในพิกัดคาร์ทีเซียน



ภาพประกอบ 11 ความเค้นสามมิติ

σ_x , σ_y , และ σ_z คือความเค้นในทิศทาง x , y , และ z ที่ระนาบที่ตั้งฉากกับแกน x , y , และ z ตามลำดับ ส่วนความเค้นเฉือน เช่น τ_{xy} และ τ_{yx} ที่จุด A คือความเค้นเฉือนที่ระนาบที่ตั้งฉากกับแกน x และมีทิศทางชี้ไปในแนวแกน y และแกน z ตามลำดับ หรือกล่าวคือ τ คือความเค้นเฉือน sub-script ตัวแรก x หมายถึงระนาบที่ความเค้นเฉือนกระทำ ส่วน sub-script ตัวที่ 2, y (หรือ z) หมายถึงทิศทางของความเค้นเฉือนนั้นๆ

ภาพประกอบ 11 จะประกอบด้วย 9 ความเค้นย่อย คือ σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yx} , τ_{yx} , τ_{xz} , τ_{zx} , τ_{yz} , และ τ_{zy} ซึ่งสามารถเขียนในรูปของค่าเทนเซอร์ (stress tensor) ที่ชี้ให้ทราบถึงขนาดและทิศทางของความเค้นเหล่านั้นได้ คือ

$$|\sigma| = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

$|\sigma|$ คือความเค้นเทนเซอร์ในการสมดุล ถ้าพิจารณาโมเมนต์รอบแกน x

$$\tau_{yz} (\Delta x \Delta z) \Delta y = \tau_{zy} (\Delta x \Delta y) \Delta z$$

หารด้วย $\Delta x \Delta y \Delta z$ ทั้งสองข้าง ดังนั้น $\tau_{xy} = \tau_{zy}$ ในทำนองเดียวกันถ้ามีการพิจารณาโมเมนต์รอบแกน y และแกน x จะได้ $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ และ $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ และ $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ตามลำดับ ดังนั้นความเค้นที่จุดหนึ่งจุดใดวัสดุประกอบด้วยความเค้น 6 ตัวคือ

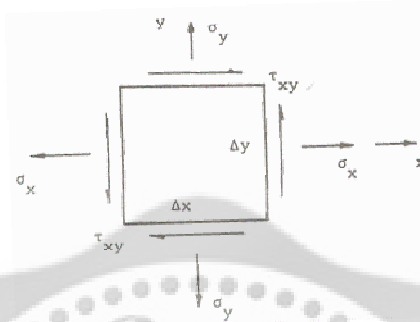
$$|\sigma| = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

ในทางปฏิบัติทิศทางหนึ่งจะเท่ากับศูนย์ เช่น ทิศทาง Z ($\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0$) ในกรณีนี้จะเรียกสถานะความเค้นว่า ความเค้นตามแกนคู่ หรือความเค้นในแนวระนาบ ดังนั้น ส่วนประกอบของความเค้นในรูปเทนเซอร์ จะประกอบด้วย 3 ความเค้นย่อย

$$\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_y \end{vmatrix}$$

ภาพประกอบ 12 เป็นรูปสองมิติ แต่ความจริงชิ้นส่วนยังเป็นสามมิติ คือมีความลึกเท่ากับ

Δz



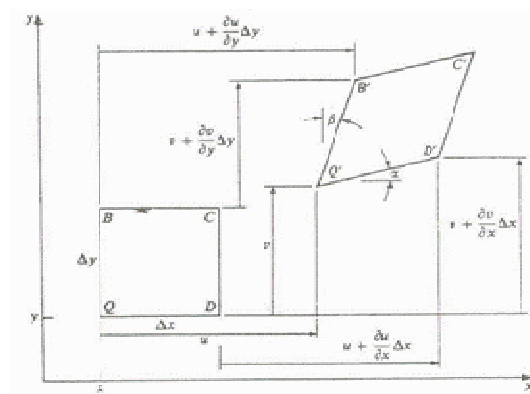
ภาพประกอบ 12 ความเค้นสองมิติ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและการเบน

วัตถุที่ได้รับความเค้นจะทำให้มีความเครียดและการเบนหรือการโก่งเกิดขึ้นด้วย โดยทั่วไปถือว่าการเบนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย ถ้าชิ้นส่วน QBCD อยู่ในพิภัก $x, y,$ และ z ดังภาพประกอบ 13 ก่อนที่แรงจะกระทำกับชิ้นส่วน ชิ้นส่วนจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก เนื่องจากชิ้นส่วนอยู่ในช่วงยืดหยุ่น ดังนั้นแรงที่กระทำกับชิ้นส่วน ทำให้ชิ้นส่วนเปลี่ยนรูปร่างเป็น Q', B', C', D' และให้ u และ v เป็นการเบนของจุด Q ที่เกิดขึ้นในทิศทาง x และ y

การเบนของจุด Q ใดๆ ในวัตถุอาจแทนด้วยฟังก์ชันต่อเนื่องของ x และ y คือ

$$U = u(x, y) \text{ หรือ } V = v(x, y)$$



ภาพประกอบ 13 ชิ้นส่วนภาพได้ภาวะความเครียด

การเบนที่มีค่าน้อยมาก เทอมที่อยู่ในรูปของอนุพันธ์จะมีค่าน้อย ดังนั้นถ้า $(\partial v / \partial x) \Delta x$ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ $\Delta x + (\partial u / \partial x) \Delta x$ เพราะฉะนั้น $Q', D' = \Delta x + (\partial u / \partial x) \Delta x$ อัตราการยืดตัวของ QD คือ

$$\varepsilon_x = \frac{Q' D' - QD}{QD} = \frac{[\Delta x + (\partial u / \partial x) \Delta x] - \Delta x}{\Delta x} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

ความเคียดในทิศทาง y หรืออัตราการยืดตัวของ QB คือ

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$$

มุม BQD ที่เปลี่ยนแปลงไปคือความเคียดเฉือนที่จุด Q จากภาพประกอบ 13 จะเห็นว่า $\gamma_{xy} = \alpha + \beta$ และ

$$\tan \alpha = \frac{(\partial v / \partial x) \Delta x}{\Delta x} \quad \text{และ} \quad \tan \beta = \frac{(\partial u / \partial y) \Delta y}{\Delta y} = \frac{\partial u}{\partial y}$$

เพราะว่าค่าความเคียดมีน้อย ดังนั้น $\tan \alpha \approx \alpha$ และ $\tan \beta \approx \beta$ ดังนั้นความเคียดเฉือนคือ

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

2. การโค้งของคาน

การโค้งของคานในสภาพพลาสติก อาจจะคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความโค้งและความโค้งคือ

$$K = \frac{d^2 y}{dx^2}$$

เป็นสมการที่ได้มาจากความสัมพันธ์ทางรูปร่างของการโค้งของคาน ดังนั้นจึงนำมาใช้กับคานในสภาพพลาสติกได้

$$\frac{K}{K_y} = \frac{1}{\sqrt{3 - 2M \cdot My}} \quad \text{ดังนั้น}$$

$$\frac{d^2 y}{dx_2} = \frac{K_y}{\sqrt{3 - 2M / My}}$$

การโก่งของคานอาจหาได้จากอินทิเกรตชัน หรือวิธีพื้นที่โมเมนต์ ซึ่งเรียกว่าพื้นที่ความโค้งทั้งนี้เพราะแทนที่จะใช้พื้นที่แผนภาพ M/EI ก็ใช้แผนภาพของความโค้งแทน ทฤษฎีพื้นที่ความโค้งกล่าวว่า

1. ความชัน ระหว่างเส้นสัมผัสส่วนโค้งของคานที่จุดสองจุด คือ A และ B จะเท่ากับพื้นที่แผนภาพความโค้งระหว่างจุดดังกล่าว
2. ระยะส่วนโค้ง Δ ของจุด B จากเส้นสัมผัสที่จุด A จะเท่ากับโมเมนต์แรก เทียบกับจุด B ของพื้นที่แผนภาพระหว่างจุด A และ B

7. หลักการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

7.1 รูปร่างของชิ้นส่วนชนิดต่างๆ

การแบ่งโครงสร้างให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ สามารถเลือกชนิดของชิ้นส่วนที่จะนำไปวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม ในการเลือกชิ้นส่วนต้องคำนึงถึงสมบัติของวัสดุหรือโครงสร้าง และจำนวนแกนที่ใช้บอกตำแหน่งของชิ้นส่วน ซึ่งอาจมีมิติเดียวหรือหลายมิติ

7.1.1 ชิ้นส่วนมิติเดียว (One-dimensional element)

โครงสร้างมีรูปร่างและสมบัติของวัสดุขึ้นอยู่กับแกนใดแกนหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปจะใช้เส้นตรงแทน ดังภาพประกอบ 14

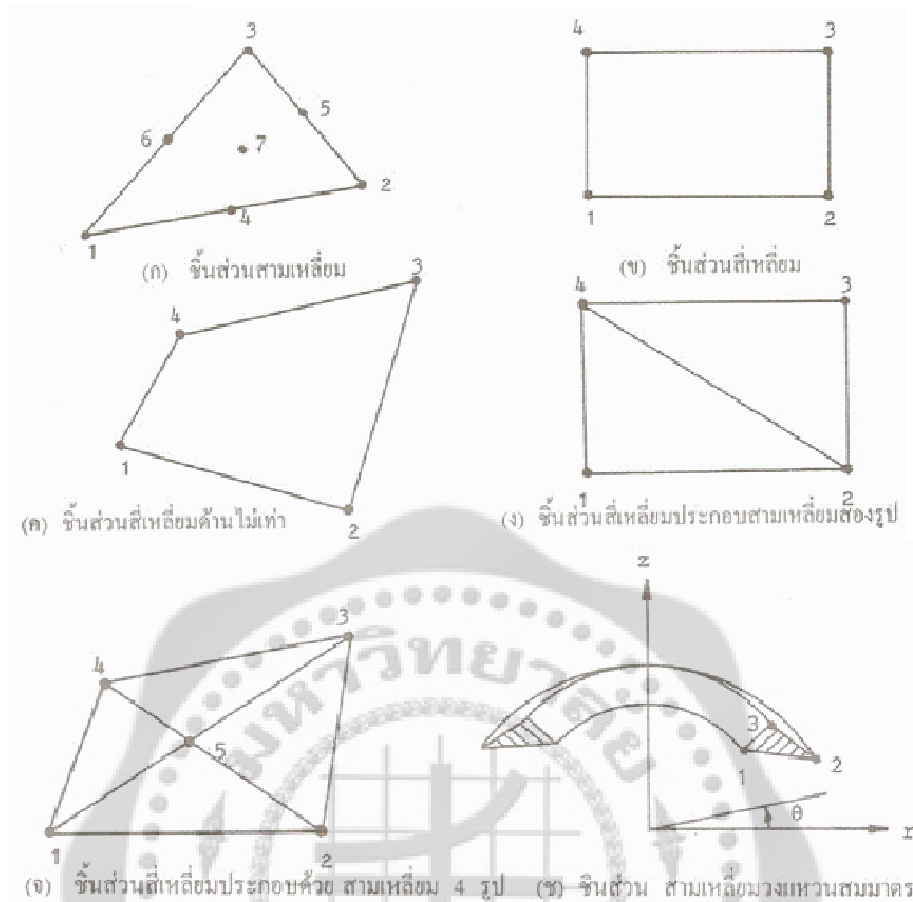


ภาพประกอบ 14 ชิ้นส่วนมิติเดียว

ปลายทั้งสองด้านจะมีจุดสำหรับต่อโยงกับชิ้นส่วนอื่นๆ เรียกว่า Node ภายนอก (external node) บางครั้งต้องเพิ่ม node ภายในชิ้นส่วน เช่น node 3 ภาพประกอบ 14 เรียกว่า node ภายใน (internal nodes)

7.1.2 ชิ้นส่วนสองมิติ (Two-dimensional elements)

ในการวิเคราะห์ปัญหาความเค้น, ความเครียดระนาบ และความโค้งของแผ่นโลหะ ชิ้นส่วนที่ใช้กับปัญหาสองมิตินี้จะใช้ชิ้นส่วนสามเหลี่ยม ดังภาพประกอบ 15

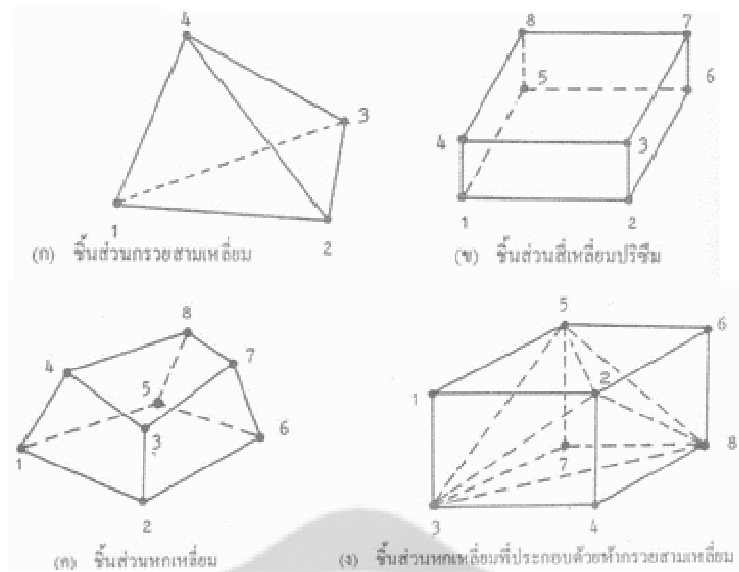


ภาพประกอบ 15 ชิ้นส่วนสองมิติ

สำหรับชิ้นส่วนสามเหลี่ยม Node ภายนอกของมุมสามเหลี่ยมคือ node 1, 2, และ 3

7.1.3 ชิ้นส่วนสามมิติ (Three-dimensional element)

ชิ้นส่วนสามมิติที่ใช้ทั่วไปคือ ชิ้นส่วนกรวยสามเหลี่ยม ดังภาพประกอบ 16ก ส่วนภาพประกอบ 16ค เป็นชนิดหกเหลี่ยมและภาพประกอบ 16ข เป็นสี่เหลี่ยมปริซึม ในทางปฏิบัติโครงสร้างหนึ่งๆ อาจแทนด้วยชิ้นส่วนหลายชนิด

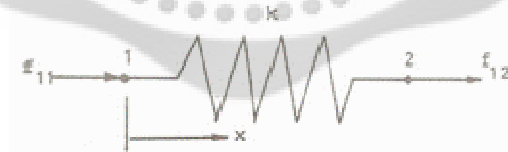


ภาพประกอบ 16 ชิ้นส่วนสามมิติ

7.2 แบบจำลองมิติเดียว (One-Dimension Models)

พิจารณาระบบที่ประกอบด้วยสปริงที่มีค่าสทิฟเนสเท่ากับ k (แรง/ส่วนยืด) ดังภาพประกอบ 17 มีแรงภายใน f_{11} และ f_{12} เกิดขึ้นที่ node ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ความหมายของแรง f_{ij} มีดังนี้ i หมายถึงชิ้นส่วนและ j หมายถึง node ดังนั้น f_{11} ก็คือแรงภายในชิ้นส่วน 1 ณ node 1 และ f_{12} คือแรงภายในชิ้นส่วน 1 ณ node 2 เป็นต้น

ให้ u_1 และ u_2 เป็นการกระจัดของ node 1 และ 2 ในทิศทาง x ตามลำดับ ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นคือ



ภาพประกอบ 17 ระบบที่ประกอบด้วยสปริง

$$f_{11} = k_1 (u_1 - u_2)$$

$$f_{12} = -k_1 (u_1 - u_2)$$

เขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_{11} \\ f_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$$

เพื่อความสะดวกอาจเขียนสมการดังนี้

$$\{f\} = [k] \{u\}$$

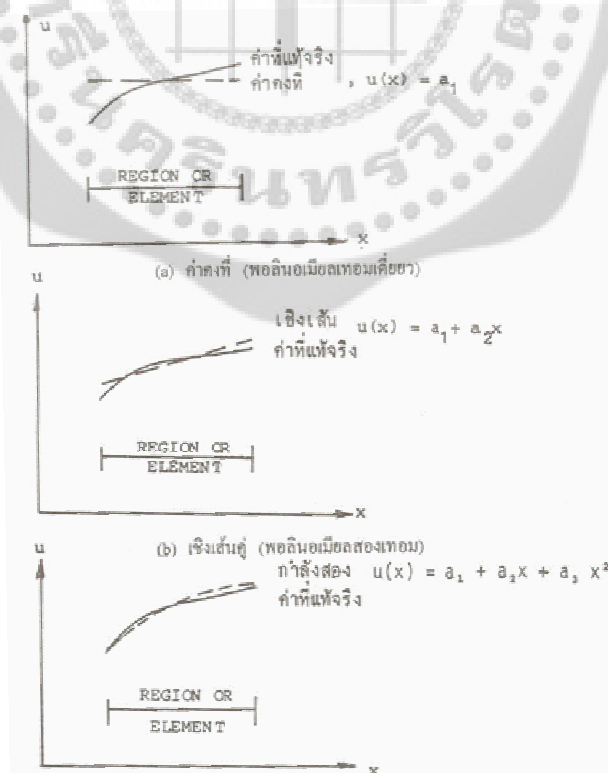
7.3 แบบจำลองการกระจัด (Displacement Models)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องสมมุติการกระจัดโดยประมาณของชิ้นส่วน ที่จะประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างหรือชิ้นส่วน การกระจัดโดยประมาณที่สมมุติขึ้นนี้ เรียกว่า displacement models, displacement functions, displacement fields, หรือ displacement patterns

แบบจำลองการกระจัดที่นิยมทั่วไป สมการจะอยู่ในรูปของพอลิโนเมียลฟังก์ชัน เช่น

$$u = a_1 + a_2x + a_3x^2 + \dots + a_{n+1}x^n$$

เนื่องจากพอลิโนเมียลฟังก์ชันที่มีเทอมมากๆ จะให้ค่าการกระจัดที่สมมุติใกล้เคียงผลเฉลยที่แท้จริง (Exact solution) มากขึ้นดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แบบจำลองมิติเดียวในรูปของพอลิโนเมียล

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับแบบจำลอง การกระจัดที่สมมุติขึ้น ซึ่งมีเกณฑ์การสมมุติดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองการกระจัด จะต้องเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องภายในชั้นส่วนและ การกระจัดที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นส่วนที่อยู่ใกล้กันจะต่อเนื่องกันด้วย

2. แบบจำลองการกระจัด จะต้องมีเทอม rigid body strain states ของชั้นส่วนอยู่ด้วย คือ a_1

3. แบบจำลองการกระจัด จะต้องมีเทอม constant strain states ของชั้นส่วนอยู่ด้วย a_2x เป็นต้น จะทำให้เกิดความเครียด ϵ_x, ϵ_y มีค่าคงที่ เป็นต้น

7.4 การหาสทิกฟเนสเมทริกซ์

การหาค่าสทิกฟเนสเมทริกซ์ของชั้นส่วนยืดหยุ่นของโครงสร้างแบบสองมิติ เช่นปัญหาแบบ ความเค้นระนาบ เป็นต้น โดยสมมุติให้แบบจำลองการกระจัดเป็นแบบเชิงเส้น เช่นสมการ

$$u = a_1 + a_2x + a_3y$$

$$v = a_4 + a_5x + a_6y$$

สภาพความเครียด ในเทอมของแบบจำลองการกระจัดหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดและการกระจัด คือ

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = a_2$$

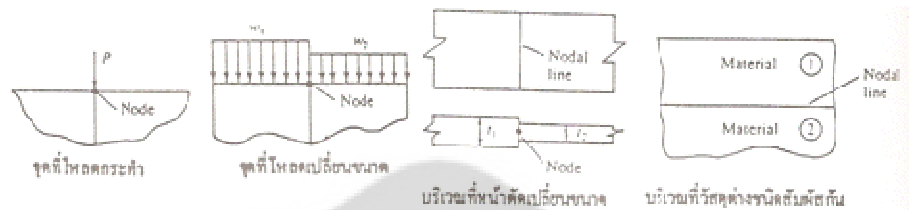
$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = a_6$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = a_5 + a_3$$

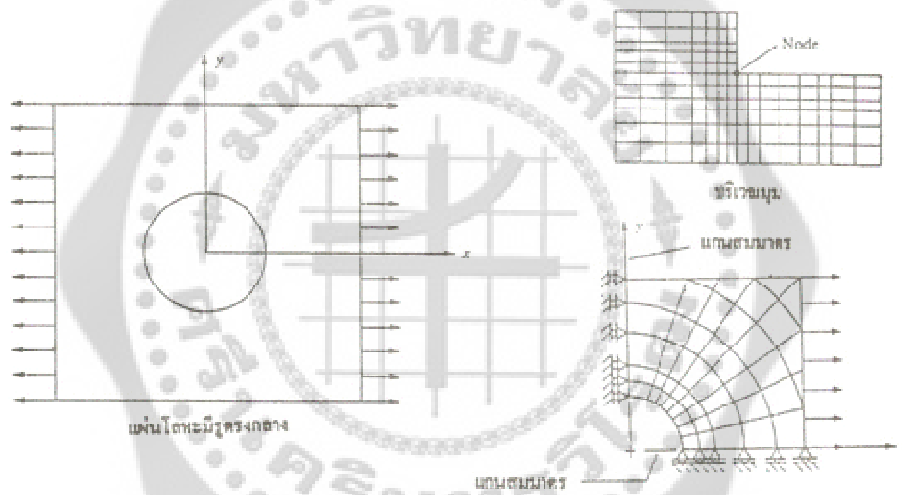
7.5 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถหาการกระจัด, ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นใน ชั้นส่วนโครงสร้างได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังสามารถจะใช้วิเคราะห์ หาความเค้นในโครงสร้างที่ซับซ้อนและปัญหาสามมิติที่ไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ด้วยวิธีธรรมดาๆ ได้ การเลือกแบบจำลอง ชนิด และขนาดของชั้นส่วนจะต้องสอดคล้องกับโครงสร้างจริงๆ จะสามารถ วิเคราะห์ปัญหาได้อย่างใกล้เคียงที่สุด และชั้นส่วนของโครงสร้างแต่ละชั้นไม่จำเป็นที่จะต้องเท่ากัน โดยทั่วไปชั้นส่วนที่มีขนาดเล็กตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของโครงสร้างของชั้นงาน บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดและบริเวณจุดที่มีวัสดุเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลหรือบริเวณจุด วิกฤต การจะแบ่งชั้นงานให้เล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์และ

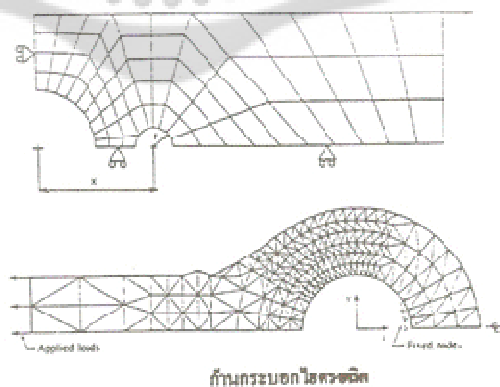
ความละเอียดของผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ ดังภาพประกอบ 19 node ควรจะอยู่ตรงตำแหน่งที่โหลดเปลี่ยนแปลงขนาด ตรงบริเวณพื้นที่ตัดของชิ้นงานการเปลี่ยนแปลงความเค้นและความเครียด ตรงบริเวณนั้นจะมีค่าสูง ชิ้นส่วนตรงบริเวณรอบๆ จะต้องแบ่งให้มีความละเอียดขึ้น ดังภาพประกอบ 20 เป็นการจำลองของแผ่นโลหะบางมีรูกลมตรงกลางและมีโหลดกระทำทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ หากความเข้มของความเค้น (Stress concentration) รอบรูกลมหรือรอยบาก ดังภาพประกอบ 21 ได้



ภาพประกอบ 19 แสดงตำแหน่ง node ที่โหลดเปลี่ยนแปลงขนาด



ภาพประกอบ 20 แผ่นโลหะบางมีรูกลมตรงกลางและมีโหลดกระทำทั้งสองข้าง



ภาพประกอบ 21 การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์หาความเข้มของความเค้น

7.6 ข้อเสนอแนะสำหรับการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็งด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จำเป็นต้องกำหนดแบบจำลองขึ้นให้เหมือนกับรูปร่างลักษณะเดิมของปัญหาให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอแนะต่อไปนี้จะช่วยให้การกำหนดแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าแม่นยำตรงกับความเป็นจริง หรือทำให้เชื่อมั่นได้ว่าผลการคำนวณมีความเป็นไปได้ตามสภาพการใช้งานจริงของชิ้นส่วนนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (เดช พุทธรเจริญทอง. 2541.36-37)

1. การกำหนดขนาดความแตกต่างของเอลิเมนต์ ไม่ควรเกินสามเท่าของเอลิเมนต์ที่อยู่ติดกัน หรือที่มีจุดต่อร่วมกัน
2. เอลิเมนต์ที่ใช้ควรมีสัดส่วนของรูปร่างที่เหมาะสม พยายามทำให้สัดส่วนของรูปร่างของเอลิเมนต์ด้านยาวที่สุดต่อด้านสั้นที่สุดไม่เกิน 10:1 เอลิเมนต์ที่มีสัดส่วนดังกล่าวใกล้เคียงกันจะทำให้ผลเฉลยมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง ส่วนมุมภายในเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมควรมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 30 ถึง 150 องศา
3. การเลือกใช้เอลิเมนต์ ควรจะพยายามให้มีความต่อเนื่องของการกระจัดในระหว่างเอลิเมนต์ และไม่ควรถูกเชื่อมต่อกับเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นกำลังสอง ที่ประกอบด้วย 8 โหนด เข้ากันกับเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ประกอบด้วย 4 โหนด
4. ควรเลือกใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กๆ บริเวณที่มีความแตกต่างกันของความเค้นสูง และที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ เช่น บริเวณที่มีความเค้นจะมีความหนาแน่นสูง ส่วนบริเวณที่มีความแตกต่างของความเค้นต่ำควรใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามความเหมาะสม
5. ควรใช้ความสมมาตรของชิ้นงานช่วย ซึ่งได้แก่ ความสมมาตรของรูปร่าง ความสมมาตรของวัสดุ และความสมมาตรของภาระที่กระทำ เพื่อลดแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็กที่สุด และประหยัดเวลาในการประมวลผล
6. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จะต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นจริงของปัญหา

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤษฎา อัสวารุ่งแสงกุล, (Krisada Asawarungsaengkul), Quality Improvement on the Slider Cutting Process, ทำการพัฒนาคูณภาพของกระบวนการตัดสไลเดอร์ ในการศึกษาการพัฒนาคุณภาพของสไลเดอร์ในกระบวนการตัดสุดท้ายของการผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE) เพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการตัด (Better cutting condition) สำหรับกระบวนการตัดเพื่อลดจำนวนการแตกและการร้าว โดยการพิจารณาอิทธิพลตัวแปรที่เป็นสาเหตุของการแตกและการร้าว ตัวแปรที่เลือกมี 5 ตัวแปรมี ความเร็วในการตัด, ความลึกในการตัด, อัตราความเร็วป้อน, เวลาในการลับใบตัด และทิศทางในการตัด ผลแสดงว่า

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญมีผลกระทบต่อผลการแตกและการร้าวคือความเร็วตัดและทิศทาง ในการตัด จากผลแนะนำว่าความเร็วตัดควรปรับ 8,500 rpm และทิศทางการตัดจากด้านซ้ายไปด้านเอียง

Bo Liu; Mingsheng Zhang; Shengkai Yu; Leonard Gonzaga; Yuet Sim Hor; และ Jianfeng Xu. Femto Slider: Fabrication and Evaluation, ทำการศึกษาการทำผลิตและการทดลอง สไลเดอร์เฟมโต (Femto slider) การเพิ่มความจุของฮาร์ดดิสก์ให้มีความจุที่ 600 ~ 1000 Gb/in² โดยการลดช่องว่างในการบินระหว่างหัวอ่านและแผ่นดิสก์ ดังนั้นได้มีการออกแบบและผลิตสไลเดอร์เฟมโต จากนั้นได้ทำการศึกษาการทำงานเชิงไดนามิก เพื่อหาความไวการบิน (Flying performance sensitivity) เปรียบเทียบกับความไวการบินของสไลเดอร์พิโค (Pico slider) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีปัจจุบัน ผลที่ได้คือ สไลเดอร์เฟมโตมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด ฉะนั้นต้องทำการควบคุมอย่างมาก ในการออกแบบ Air Bearing Surface (ABS) ที่เหมาะสมจะช่วยลดความไวของการบิน

Gatzen, H.H.; Morsback, C.; Siekmann H.; Zeadam, J. Slicing Induced ABS-Cambering in Thin Film Pico Sliders, ทำการศึกษผลกระทบสำหรับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์เชิงกล อิทธิพลของขนาดเกรนใบตัด (Dicing Blade Grain Size) การแปรผันการติดใบตัดคู่ อัตราการป้อน หรือความเร็วตัดในการตัดแยกสไลเดอร์เป็นกระบวนการเชิงกลสุดท้ายของการผลิตสไลเดอร์จะทำให้ ABS (Air Bearing Surface) เกิดแคมเบอร์เป็นลบ (Negative Camber) แบบร่องเป็นสาเหตุโดยการยืดหยุ่นผิดรูปเกิดที่ขอบสไลเดอร์ขณะทำการตัด ขณะนั้นกระบวนการมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างเล็กน้อยในขนาดร่อง ABS ชนิดของใบตัดจะเป็นตัวหลักในการทำให้แคมเบอร์เป็นลบ และพารามิเตอร์การตัดอื่นๆอีก นอกจากการสร้างร่อง ตำแหน่งการตัดอาจเกิดรอยเสียหายอย่างไม่ต่อเนื่องเป็นสาเหตุโดยการเลอะวัสดุที่ขอบสไลเดอร์

Matsumaru Koji; Takata Atsushi; และ Ishizaki Kozo. Advanced thin dicing blade for sapphire substrate, ความก้าวหน้าใบตัดบางสำหรับแผ่นรองสีนิล (Sapphire substrate) ได้มีการศึกษาใบตัด 3 ชนิด ซึ่งมีความเหมือนกัน และเกรนเพชรมีขนาดเท่ากัน ชนิดแรกคือ นิเกิลผสมฟอส-ฟริช และวัสดุ Vitric ทั้ง 2 ชนิดที่เหลือ และแบ่งเป็นชนิดที่แน่นกับที่มีรูพรุน ใช้ความเร็วในการตัดที่ 20,000 rpm, ความลึกในการตัด 200 μm และอัตราความเร็วป้อน 1 mm ต่อวินาที ใบตัดทุกใบ ตัดที่ความยาว 1000 mm การที่จะทำให้ใบตัดมีคุณภาพดีขึ้นอยู่กับการประดิษฐ์ใบตัด การสึกหรอของใบตัดก็มีผลกับคุณภาพและความสามารถในการตัดจะขึ้นอยู่กับเนื้อเพชรในใบตัด

SeongMin Son; HanSeok Lin; และ Junghwan Ahn. The effect of vibration cutting on minimum cutting thickness, ผลกระทบของการสั่นในการตัดบนชิ้นงานที่มีความหนาแน่นน้อยๆ การกำหนดความบางของชิ้นงานในการตัดที่เล็กที่สุดมีความสำคัญ ความสามารถของเครื่องจักรที่มีความแม่นยำสูงและมีความคงที่ การตัดที่ความลึกควรระวังกับเศษเล็ก ๆ (Chip) เกิดจากความคมของเครื่องมือและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างชิ้นงานและเครื่องมือ ผลกระทบของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน บนความหนาของชิ้นงานที่น้อยที่สุดในการตัดหน่วยเป็นไมโคร สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเครื่องมือกับชิ้นงานที่สูงคือความหนาในการตัดชิ้นงานที่มีความหนาเล็กน้อย ดังนั้นความเชื่อว่าการเพิ่มสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยวิธีทางกายภาพจะตัดชิ้นงานที่มีความ

แนวทางที่การลดความหนาของชิ้นงานการตัดชิ้นงานที่เล็กที่สุดถูกค้นหาโดยการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเครื่องมือกับชิ้นงาน ผลการทดลองแสดงว่าประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการตัดสำหรับการเพิ่ม สัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการลดความหนาของชิ้นงานที่เล็กที่สุด ความหนาของชิ้นงานที่เล็กที่สุดถูกลดลงประมาณ 0.02-0.04 μm ขึ้นอยู่กับวัสดุและเงื่อนไขการสั่น

Zhang, J.; และ Talke, F. Sensitivity analysis of pick and Femto sliders, ทำการวิเคราะห์ความไวความสูงการบินของ สไลเดอร์พีโคและ เฟมโต การออกแบบเส้นโค้ง Air bearing เงื่อนไขการทำงานและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนโรงงานผลิตได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลข ของสไลเดอร์พีโคและเฟมโตทั้งคู่ได้ทำแบบและจำลอง ผลแสดงว่าความสูงการบินคือการออกแบบเส้นโค้งของ Air bearing ของสไลเดอร์มีอิทธิพลอย่างมาก ผลจากการแจกแจงของความสูงการบิน, มุมยอด และมุมการเคลื่อนที่เข้าใกล้ Gaussian

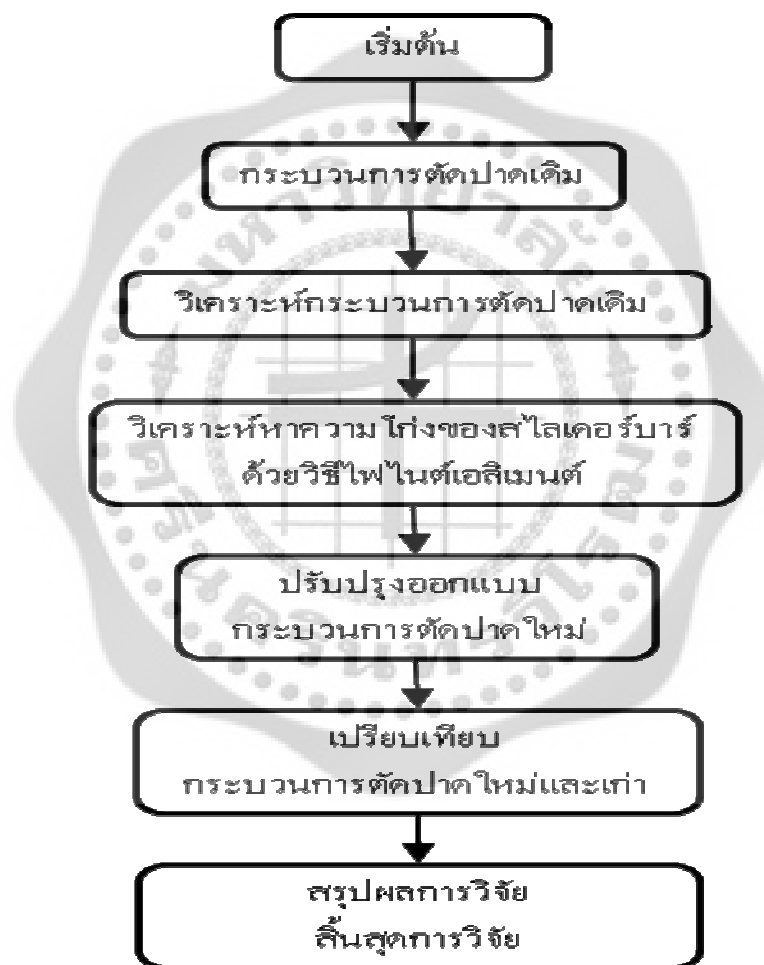
สรุป

จากเอกสารงานวิจัย ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับขนาดของ สไลเดอร์เฟมโตที่เหมาะสมและทำการเทียบเคียงกับขนาดของสไลเดอร์พีโคและ สไลเดอร์เฟมโต จะมีความไวในการบินมากกว่า และการออกแบบส่วนโค้งของหน้า ABS จะมีผลอย่างมากในขณะที่ทำการบินบนแผ่นดิสก์ ในกระบวนการตัด สไลเดอร์ขนาดเกรนของเพชรมีผลกับการตัด รวมถึงความเร็วป้อน คุณภาพในการตัดขึ้นอยู่กับ การประดิษฐ์ใบตัดและเนื้อเพชรในใบตัด แต่การสึกหรอของใบตัดก็ส่งผลกับคุณภาพในการตัดด้วยการสั่นขณะทำการตัดก็มีผลกับคุณภาพในการตัด และมีการศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการตัดสไลเดอร์ด้วยความเร็วรอบ 8,500 rpm ทิศทางการตัดจากด้านซ้าย (ด้าน ดีโพลีชัน) เข้าไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด โดยการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ปรับปรุงกระบวนการตัดปาดสไลเดอร์บาร์ และเปรียบเทียบความโค้ง, ความหยวบผิวน, และเวลาระหว่างกระบวนการตัดปาดก่อนและหลังปรับปรุง ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 22 แสดงขั้นตอนการวิจัย

1. วิธีดำเนินการวิจัยโดยการทดลอง

1.1 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.1.1 เครื่องตัดและเจียระไนแผ่นเวเฟอร์ ภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงเครื่องตัดและเจียระไนแผ่นเวเฟอร์

1.1.2 ไบต์ดเพชร 3 ชนิดมีดังต่อไปนี้

1.1.2.1 ไบต์ดชนิดความหนา 71T ขนาด SD1000 112OD x 71T x 88.9ID mm

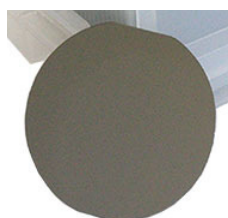
1.1.2.2 ไบต์ดชนิดความหนา 48T ขนาด SD1200 112OD x 48T x 88.9ID mm

1.1.2.3 ไบต์ดชนิดความหนา 45T ขนาด SD1000 112OD x 45T x 88.9ID mm



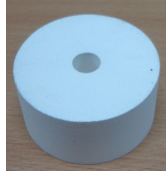
ภาพประกอบ 24 แสดงไบต์ดเพชร

1.1.3 แผ่นเวเฟอร์ที่ใช้ในการวิจัยคือ Al_2O_3 -TiC ดังภาพประกอบ 25



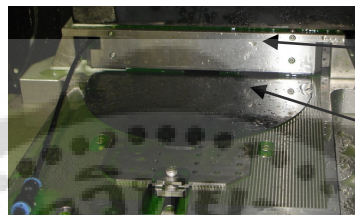
ภาพประกอบ 25 แสดงแผ่นเวเฟอร์

1.1.4 หินลับใบตัด (Dresser) ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 แสดงหินลับใบตัด

1.1.5 อุปกรณ์จับยึดแผ่นเวเฟอร์ ดังภาพประกอบ 27



อุปกรณ์จับยึดแผ่น
เวเฟอร์
แผ่นเวเฟอร์

ภาพประกอบ 27 แสดงอุปกรณ์จับยึดแผ่นเวเฟอร์

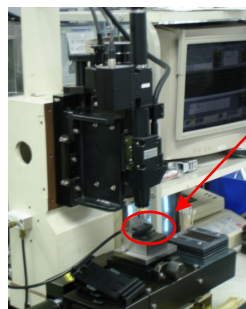
1.1.6 ล้อเจียรไนมีส่วนผสมของกากเพชร ขนาด SD2000 203OD x 2T x 199ID mm
ดังภาพประกอบ 28



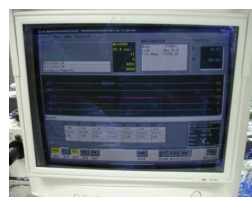
ภาพประกอบ 28 แสดงล้อเจียรไน

1.1.7 เครื่องวัดความโค้งของสไลเดอร์บาร์ (ความละเอียดที่ 2.54 μm) ดังภาพประกอบ

29



แท่นวางสไลเดอร์บาร์



ภาพประกอบ 29 แสดงเครื่องวัดความโค้งของสไลเดอร์บาร์

1.2 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัยโดยการทดลอง

1.2.1 การจัดเตรียมใบตัด

1.2.1.1 ติดตั้งใบตัดชนิดความหนา 71T ที่ตัวจับยึดใบตัดดังภาพประกอบ 31

1.2.1.2 ลับใบตัดกับหินลับใบตัดที่ความเร็วรอบ 5,000 rpm และอัตราป้อน 102

mm/min



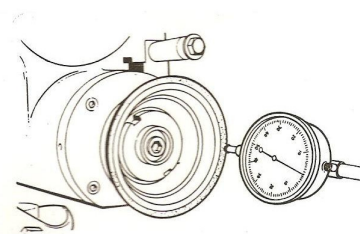
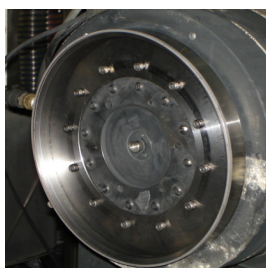
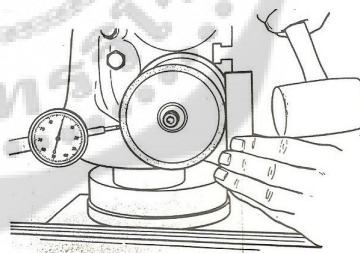
ภาพประกอบ 30 แสดงใบตัดหลังประกอบกับเครื่องตัด

1.2.2 การจัดเตรียมล้อเจียรไน

1.2.2.1 ติดตั้งล้อเจียรไนกับเครื่องจักร ปรับและตรวจสอบการส่ายของล้อเจียรไน โดยค่าการส่ายที่ยอมรับได้คือ 2 μm ดังภาพประกอบ 31

1.2.2.2 ลับหน้าล้อเจียรไนและปรับแต่งหน้าล้อให้เรียบ

1.2.2.3 ปรับตั้งฉากระหว่างล้อเจียรไนกับโต๊ะจับยึดชิ้นงาน ด้วยการชดกับแผ่นเวเฟอร์ซึบสเตรจ



ภาพประกอบ 31 แสดงล้อเจียรไนหลังประกอบ การปรับและตรวจสอบการส่ายของล้อเจียรไน

1.2.3 การปรับเครื่องสำหรับกระบวนการตัดปาดเดิม มีตัวแปรดังนี้

1.2.3.1 ความเร็วรอบในการเจียระไน 3000 rpm

1.2.3.2 อัตราป้อนในการเจียระไน 0.457 m/min

1.2.3.3 ความลึกในการเจียระไน 1.02×10^{-5} m

1.2.3.4 ความเร็วรอบในการตัด 9,000 rpm

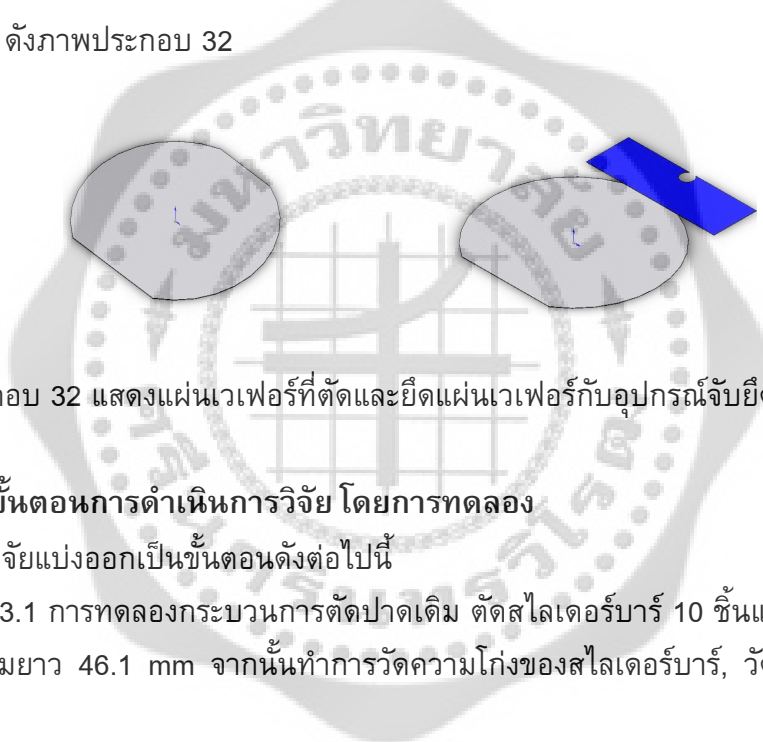
1.2.3.5 อัตราป้อนในการตัด 0.254 m/min

1.2.3.6 ความลึกในการตัด 2.16×10^{-3} mm

1.2.3.7 ไบต์ตชชนิดความหนา 71T

1.2.4 การเตรียมแผ่นเวเฟอร์สำหรับวิจัย

1.3.4.1 นำแผ่นเวเฟอร์มาตัดขอบทั้งสองด้าน และยึดแผ่นเวเฟอร์ที่ตัดแล้วกับอุปกรณ์จับยึด ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 แสดงแผ่นเวเฟอร์ที่ตัดและยึดแผ่นเวเฟอร์กับอุปกรณ์จับยึดเรียบร้อยแล้ว

1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยการทดลอง

การวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.3.1 การทดลองกระบวนการตัดปาดเดิม ตัดสไลเดอร์บาร์ 10 ชิ้นและนำสไลเดอร์บาร์มาตัดให้มีขนาดยาว 46.1 mm จากนั้นทำการวัดความโค้งของสไลเดอร์บาร์, วัดค่าความหยابผิว, และเก็บข้อมูล

1.3.2 การทดลองกระบวนการตัดปาดใหม่ ด้วยเงื่อนไขกระบวนการตัดปาดใหม่

1.3.3.1 ติดตั้งไบต์ตชชนิด 71T และตัดสไลเดอร์บาร์ 10 ชิ้นและนำสไลเดอร์บาร์มาตัดให้มีขนาด 46.1 mm จากนั้นทำการวัดความโค้ง, วัดค่าความหยابผิว, และเก็บข้อมูล

1.3.3.2 ติดตั้งไบต์ตชชนิด 48T และตัดสไลเดอร์บาร์ 10 ชิ้นและนำสไลเดอร์บาร์มาตัดให้มีขนาด 46.1 mm จากนั้นทำการวัดความโค้ง, วัดค่าความหยابผิว, และเก็บข้อมูล

1.3.3.3 ติดตั้งไบต์ตชชนิด 45T และตัดสไลเดอร์บาร์ 10 ชิ้นและนำสไลเดอร์บาร์มาตัดให้มีขนาด 46.1 mm จากนั้นทำการวัดความโค้ง, วัดค่าความหยابผิว, และเก็บข้อมูล

1.3.3 ทำการรวบรวมข้อมูลผลการทดลอง, ค่าความหยابผิว และทำการสรุปผล

2. วิธีดำเนินการวิจัยโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมทางกายภาพ ในโครงสร้างที่มีความซับซ้อนและแสดงผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูง หลักการที่สำคัญคือการใช้คณิตศาสตร์มาช่วยในการหาผลเฉลยที่ต้องการ เช่น ใช้สมการเชิงเมทริกซ์ และการแก้สมการ โดยแบ่งโครงสร้างออกเป็น ส่วนเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element) แต่ละจุดของชิ้นส่วนที่มาต่อกันเรียกว่า โหนด (Node) ในปัจจุบันนี้มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์มากขึ้น

การแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Preprocessing) และกำหนดสภาพเงื่อนไขและขอบเขตที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง
2. การประมวลผล (Processing) คือการแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆ
3. แสดงผลลัพธ์ (Post processing) คือการแสดงผลหลังจากที่ทำการวิเคราะห์แล้ว เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการที่จะพิจารณา และเพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปประยุกต์ใช้งานในโอกาสต่อไป

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีดังต่อไปนี้

- 2.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้ Microsoft windows XP, CPU 1.73GHz, Ram 2.0GB, Hard disk 80 GB
- 2.1.2 โปรแกรม Solidworks2009, และ Ansys11.0

2.2 สภาพเงื่อนไขและขอบเขตที่ใช้ในงานวิจัย โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2.1 เงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดเดิม

ตาราง 3 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดเดิม

	หน่วย	การตัด	การเจียรระไน
ความเร็วรอบมอเตอร์	rpm	9,000	3,000
อัตราป้อน	m/min	0.254	0.457

การคำนวณหากำลังของมอเตอร์ จากกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้า
จาก กำลังของมอเตอร์

$$= EI\eta$$

กำลังมอเตอร์ของใบตัด

$$= 75 \times 0.0210 \times 0.95 = 1.496 \text{ W}$$

กำลังของมอเตอร์ของล้อเจียรไน

$$= 75 \times 0.2745 \times 0.95 = 19.558 \text{ W}$$

การคำนวณหาแรงบิดจากมอเตอร์

$$T = \frac{\text{Power}}{(2\pi n)}$$

แรงบิดมอเตอร์ของล้อเจียรไน

$$T_0 = \frac{19.558}{(2 \times \pi \times 3,000/60)} = 0.06226 \text{ Nm}$$

แรงบิดมอเตอร์ของใบตัด

$$T_1 = \frac{1.496}{(2 \times \pi \times 9,000/60)} = 0.001588 \text{ Nm}$$

การคำนวณหาโมเมนต์จากแรงบิดของมอเตอร์

ล้อเจียรไนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.203 m ดังนั้นรัศมีของล้อเจียรไนเท่ากับ 0.1015 m
และใช้อัตราป้อนในการเจียรไนเท่ากับ $0.457 \times \frac{1}{60} \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{\text{min}}{\text{sec}} = 0.0076 \text{ m/sec}$ แรงที่กระทำ
กับชิ้นงานทางด้านผิวงอขึ้นอากาศ ได้แก่

แรงที่กระทำกับชิ้นงานด้านการเจียรไน

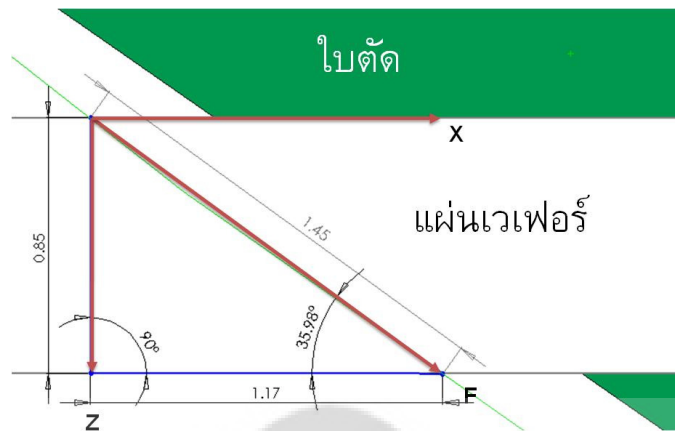
$$F_0 = \frac{T_0}{r_0} s_0 = \frac{0.06226}{(0.1015)} \times 0.0076 = 0.00467 \text{ N}$$

และขนาดของใบตัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.112 m ดังนั้น รัศมีของใบตัดเท่ากับ
0.056 m และใช้อัตราป้อนในการตัดเท่ากับ $0.254 \times \frac{1}{60} \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{\text{min}}{\text{sec}} = 0.0042 \text{ m/sec}$ แรงที่
กระทำต่อชิ้นงานทางด้านหลังของสไลเดอร์บาร์ ได้แก่

แรงที่กระทำกับชิ้นงานด้านการตัด

$$F_1 = \frac{T_1}{r_1} s_1 = \frac{0.001588}{(0.056)} \times 0.0042 = 0.0001191 \text{ N}$$

แรงตัดที่กระทำกับแผ่นเวเฟอร์ในแนวแกน



ภาพประกอบ 33 แสดงแรงตัดที่กระทำกับแผ่นเวเฟอร์

ดังนั้น แรงตัดที่กระทำในแนวแกนคือ

แรงในแนวแกน

$$X = F \cos 36^\circ = 0.0001191 \cos 36^\circ = 0.0000964 \text{ N}$$

แรงในแนวแกน

$$Z = F \sin 36^\circ = 0.0001191 \sin 36^\circ = 0.000070 \text{ N}$$

ฉะนั้น ความดันที่กระทำกับด้านผิวรองสิ้นอากาศคือ พื้นที่ความหนาของล้อยเจียรไน เท่ากับ 0.002 m และแผ่นเวเฟอร์หนาเท่ากับ 0.00085 m ดังนั้น พื้นที่ด้านการเจียรไน (A_0) คือ 0.002×0.00085 เท่ากับ $1.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

ความดันบนผิวงานด้านการเจียรไน

$$P_0 = \frac{F_0}{A_0} = \frac{0.00467}{1.70 \times 10^{-6}} = 2747.06 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 2.747 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

ความดันที่กระทำกับด้านหลังของสไลเดอร์บาร์ คือ พื้นที่ความหนาของใบตัด เท่ากับ $5.08 \times 10^{-5} \text{ m}$ และแผ่นเวเฟอร์หนาเท่ากับ 0.00085 m ดังนั้น พื้นที่ด้านการเจียรไน (A_0) คือ $5.08 \times 10^{-5} \times 0.00085$ เท่ากับ $4.3 \times 10^{-8} \text{ m}^2$

ความดันบนผิวงานด้านการตัด

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{0.0001191}{4.3 \times 10^{-8}} = 2769.77 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 2.769 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

โมเมนต์ที่กระทำกับชิ้นงานด้านผิวรองสี่นอากาศ

โมเมนต์ด้านผิวรองสี่นอากาศมีระยะห่างจากจุดยึดถึงขอบเจียรระไนของชิ้นงาน จากการออกแบบแผ่นเวเฟอร์มีระยะห่างของแต่ละสไลเดอร์บาร์มีค่าเท่ากับ 0.305 mm

ระยะห่างของจุดยึดถึงขอบเจียรระไน

= ระยะห่างของแต่ละสไลเดอร์บาร์ \times จำนวนสไลเดอร์บาร์

$$l_1 = 0.305 \times 13 = 3.96 \text{ mm}$$

โมเมนต์ด้านผิวรองสี่นอากาศของสไลเดอร์บาร์

$$M_0 = F_0 \times l_0 = 0.00467 \times 3.96 = 0.0185 \text{ Nmm}$$

โมเมนต์ด้านผิวด้านหลังมีระยะห่างจากจุดยึดถึงขอบตัดของชิ้นงานคือ

ระยะห่างของจุดยึดถึงขอบตัด = ระยะห่างของแต่ละสไลเดอร์บาร์ \times จำนวนสไลเดอร์บาร์

$$l_1 = 0.305 \times 12 = 3.66 \text{ mm}$$

โมเมนต์ด้านผิวด้านหลังของสไลเดอร์บาร์

$$M_1 = F_1 \times l_1 = 0.0001191 \times 3.66 = 0.000436 \text{ Nmm}$$

ในกรณีที่ใช้การตัดอย่างเดี่ยว โมเมนต์ด้านผิวรองสี่นอากาศของสไลเดอร์บาร์

$$M_0 = F_0 \times l_0 = 0.0001191 \times 3.96 = 0.0004716 \text{ Nmm}$$

2.2.2 เงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดใหม่

จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ความดันที่กระทำกับผิวรองสี่นอากาศและด้านหลังของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดเท่ากัน คือ 8.186×10^{-4} MPa แรงกระทำกับผิวรองสี่นอากาศและด้านหลังของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดเท่ากัน คือ 3.522×10^{-5} N และโมเมนต์ที่กระทำกับผิวรองสี่นอากาศจากกระบวนการตัดเท่ากับ 1.39×10^{-4} Nmm โมเมนต์ที่กระทำด้านหลังของสไลเดอร์บาร์เท่ากับ 1.29×10^{-4} Nmm

ใบตัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.112 m ดังนั้น รัศมีของใบตัดเท่ากับ 0.056 m และอัตราป้อนในการตัดเท่ากับ $0.254 \times \frac{1}{60} \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{\text{min}}{\text{sec}} = 0.0042 \text{ m/sec}$

ดังนั้น แรงบิดมอเตอร์ของใบตัด

$$T_1 = \frac{F_1 r_1}{s_1} = \frac{0.00003522 \times 0.056}{0.0042} = 0.0004696 \text{ Nm}$$

กำลังมอเตอร์ของใบตัด = $75 \times 0.00407 \times 0.95 = 0.290 \text{ W}$

ดังนั้น ความเร็วรอบมอเตอร์ของใบตัด

$$\begin{aligned} n &= \frac{0.290}{(2 \times \pi \times 0.0004696)} = 98.28 \times 60 \\ &= 5896.8 \text{ rpm} \approx 6000 \text{ rpm} \end{aligned}$$

ตาราง 4 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่

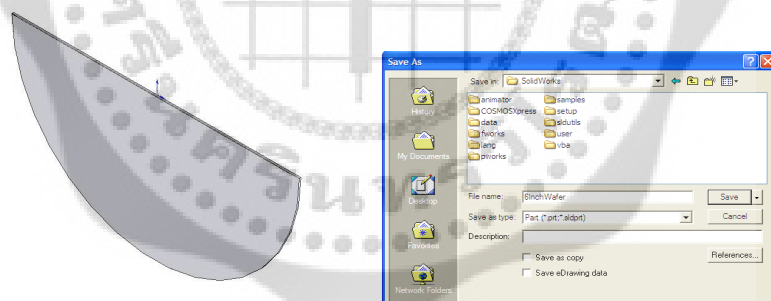
	หน่วย	การตัด
ความเร็วรอบมอเตอร์	rpm	6,000
อัตราป้อน	m/min	0.254

ตาราง 4 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการตัดปาดใหม่ จากการคำนวณของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ความเร็วรอบมอเตอร์ปัดเท่ากับ 6,000 rpm และใช้อัตราป้อนเท่ากับ 0.254 m/min

2.3 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัยโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

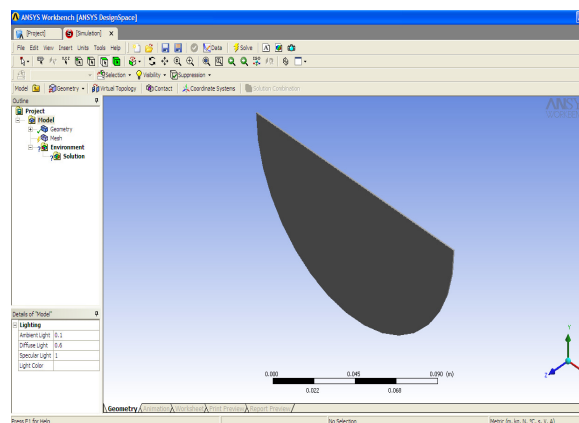
2.3.1 การสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Preprocessing)

2.3.1.1 สร้างแบบจำลองแผ่นเวเฟอร์ ให้มีขนาดเทียบเท่าขนาดของจริงด้วยโปรแกรม Solidworks2009 ในลักษณะ 3 มิติและมีลักษณะทางกายภาพเสมือนจริง โดยสร้างเวเฟอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 152.4 mm มีความหนาเท่ากับ 0.85 mm จากนั้นทำการบันทึก (Save) ให้อยู่ในรูปแบบแฟ้ม (File) Solidworks .Part(*.pst;*.sldprt) ดังภาพประกอบ 34



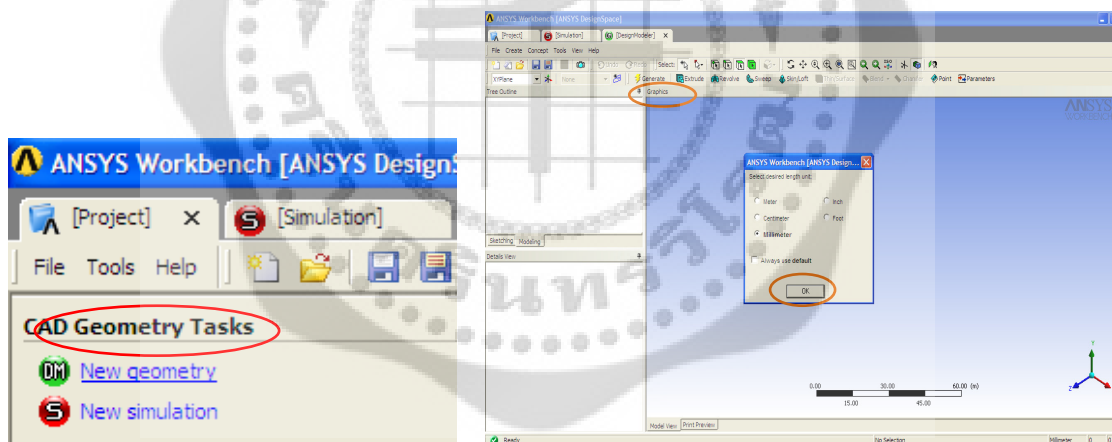
ภาพประกอบ 34 แสดงแบบจำลองของแผ่นเวเฟอร์และการบันทึกภาพแบบจำลองในโปรแกรม Solidworks2009

2.3.1.2 เปิดโปรแกรม Ansys11.0 ด้วยการเลือกที่ทูลบาร์ (Tool bar) ของโปรแกรม Solidworks2009 และเลือกคำสั่ง Simulation เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการเปิดโปรแกรม Ansys 11.0 อัตโนมัติและจะแสดงหน้าจอของ Ansys11.0 ด้วย Tab ของ [Simulation] ดังภาพประกอบ 35



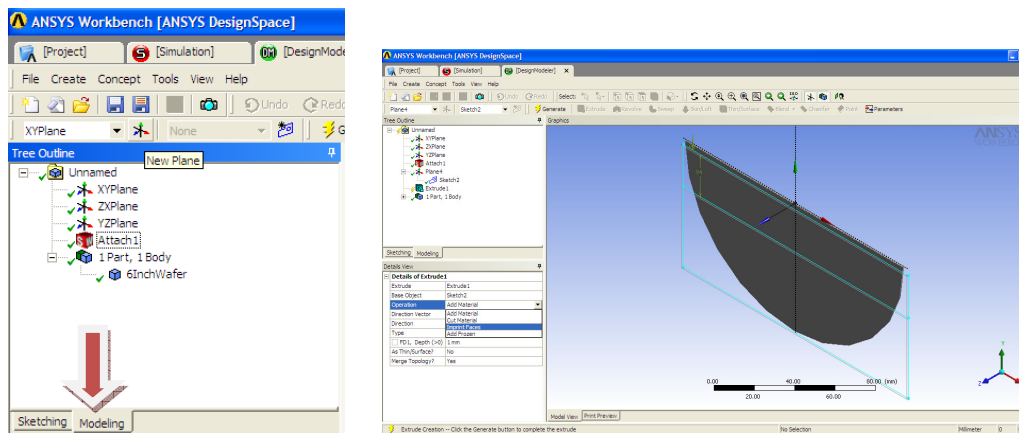
ภาพประกอบ 35 แสดงโปรแกรม Ansys11.0 หลังเปิดด้วยโปรแกรม Solidworks2009

2.3.1.3 การสร้างพื้นที่จับยึดบนโมเดลเวเฟอร์ (Fixed support) ทำการเลือก Tab [project] และเลือก New geometry เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการสร้าง Tab [DesignModeler] ทำการกดปุ่ม OK จากนั้นทำการกดปุ่ม Generate โปรแกรมจะทำการโหลดโมเดลเวเฟอร์ออกมา และทำการกดปุ่ม Generate ดังภาพประกอบ 36



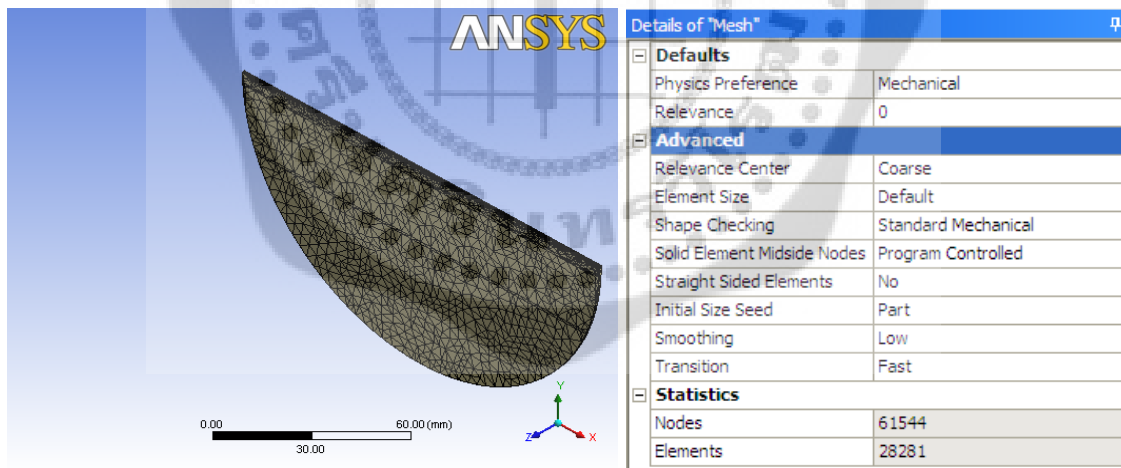
ภาพประกอบ 36 แสดงการเลือก new geometry และ Tab [DesignModeler]

2.3.1.4 เลือก New Plane ที่ tool bar จากนั้นทำการเลือก Tab Sketching จากนั้นทำการเขียนทับลงไปบนรูปของเวเฟอร์และทำการสร้างความหนา โดยใช้คำสั่ง Exclude และกำหนดความหนา 1 mm และเลือกคำสั่ง Imprint Faces ของ Operation และ Generate ตามลำดับดังภาพประกอบ 37



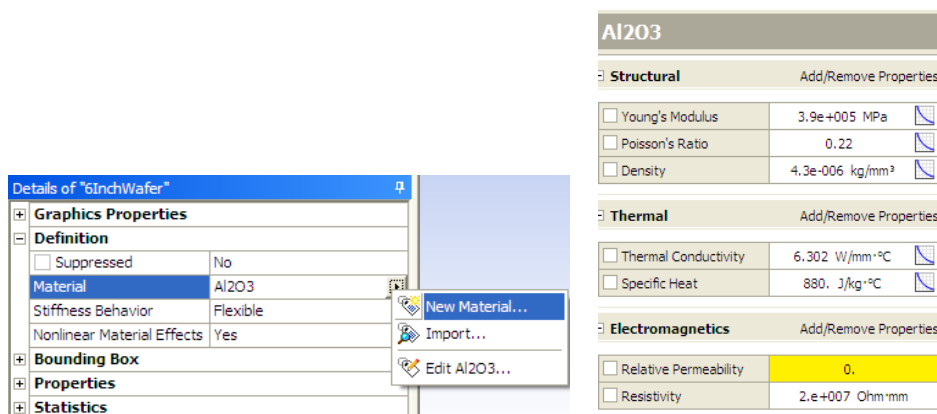
ภาพประกอบ 37 การเลือกคำสั่ง New Plane และ Sketching และการ Sketching บนโมเดลแผ่นเวเฟอร์

2.3.1.5 การสร้าง Mesh แบบโมเดลเวเฟอร์ ด้วยการเลือก Mesh กดทางด้านขวาของ Mount และเลือก Generate Mesh คอมพิวเตอร์จะสร้าง Mesh และสร้างตาราง Mesh เป็นตารางบนรูปของโมเดลเวเฟอร์และได้ node ทั้งหมดเท่ากับ 61,544 node และ 28,281 เอลิเมนต์ ดังภาพประกอบ 38



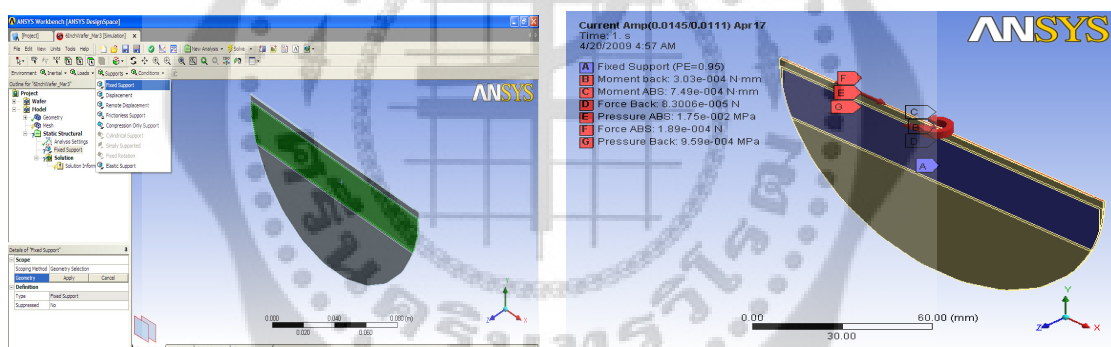
ภาพประกอบ 38 แสดงขั้นตอนการทำ Mesh บนโมเดลแผ่นเวเฟอร์

2.3.1.6 การเลือกใช้วัสดุ ก่อนทำการเลือกใช้ต้องทำการเพิ่มสมบัติของวัสดุ Al_2O_3 เนื่องจากวัสดุนี้ไม่มีในระบบฐานข้อมูลของ Ansys11.0 โดยค่า Young's Modulus มีค่าเท่ากับ 3.9×10^{11} Pa, Poisson's Ratio 0.22, Density $4,300 \text{ kg/m}^3$, Thermal Conductivity $6,302 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, Specific heat $880 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, และ Resistivity $20,000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ ดังภาพประกอบ 39 จากนั้นให้เลือกวัสดุ Al_2O_3 ตามลำดับ (สมบัติของวัสดุจากบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล จำกัด)



ภาพประกอบ 39 แสดงการเพิ่มวัสดุลงในโปรแกรม Ansys11.0

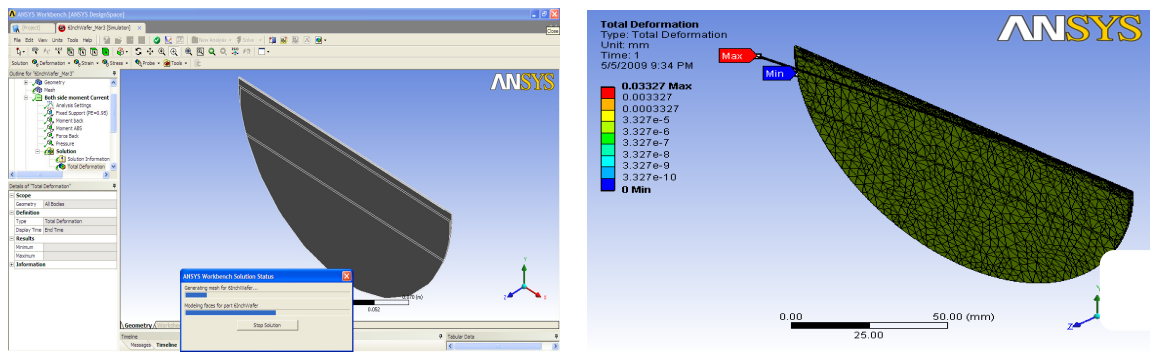
2.3.1.7 การทำการ Fixed support ด้วยการเลือกคำสั่ง Fixed support บน tool bar และเลือกพื้นผิวบนโมเดลที่ต้องการ Fixed และกด Apply เลือกคำสั่ง Load บน Tool bar และเลือก Load ที่กระทำบนโมเดลและกำหนดทิศทางให้ตรงกับทิศทางที่กระทำจริง ดังภาพประกอบ 40



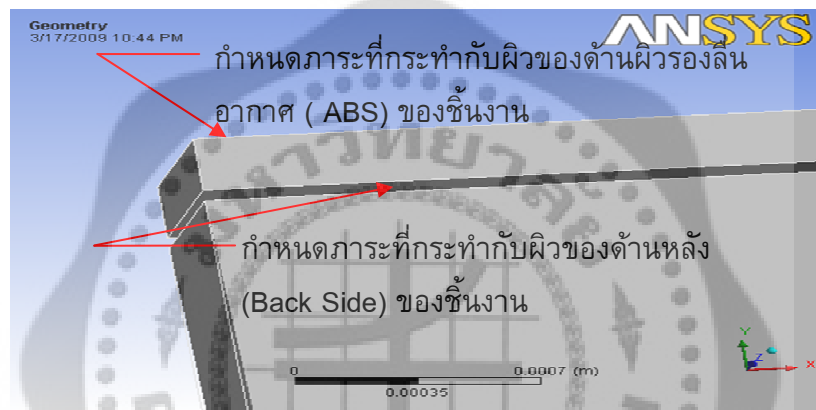
ภาพประกอบ 40 แสดงการทำการ Fixed support และการกำหนด Load ลงไปในโมเดล

2.3.2 การประมวลผล (Processing) และการแสดงผลลัพธ์ (Post processing)

2.3.2.1 เลือกคำสั่ง Deformation และ Total บน Tool bar การทำการประมวลผล และแสดงผล (Processing and Post Processing) ของโปรแกรม Ansys11.0 ด้วยการเลือก Solve โปรแกรมจะทำการประมวลผล และแสดงผล ดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 แสดงการทำงานของโปรแกรม Ansys11.0 และผลของโปรแกรม Ansys11.0



ภาพประกอบ 42 แสดงภาระที่กระทำต่อชิ้นงานของกระบวนการตัดปาด

แรงที่กระทำกับชิ้นงาน โดยด้านผิวรองเส้นอากาศ (ABS side) ของสไลเดอร์บาร์จะถูกกระทำด้วยการเจียรไนจากกระบวนการตัดปาด และผิวด้านหลัง (Back side) ของสไลเดอร์บาร์จะถูกกระทำด้วยกระบวนการตัดจากกระบวนการตัดปาด ดังภาพประกอบ 42

บทที่ 4

ผลการวิจัย

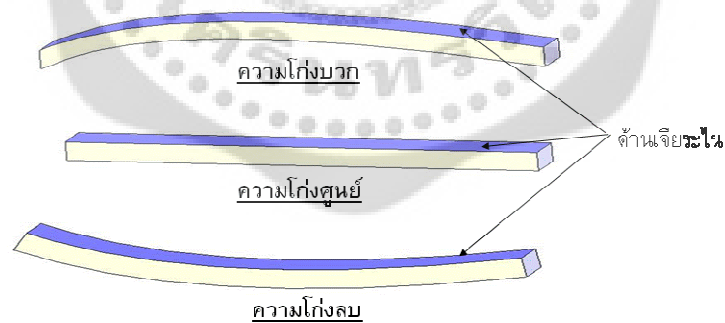
การวิจัยเพื่อการลดความเสียหายของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดแปดเดิม ผลการวิจัยประกอบด้วย

1. ผลการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดแปดเดิม โดยการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. ผลการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดแปดใหม่ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง
3. ผลการเปรียบเทียบกระบวนการตัดแปดเดิมและกระบวนการตัดแปดใหม่ โดยการทดลอง

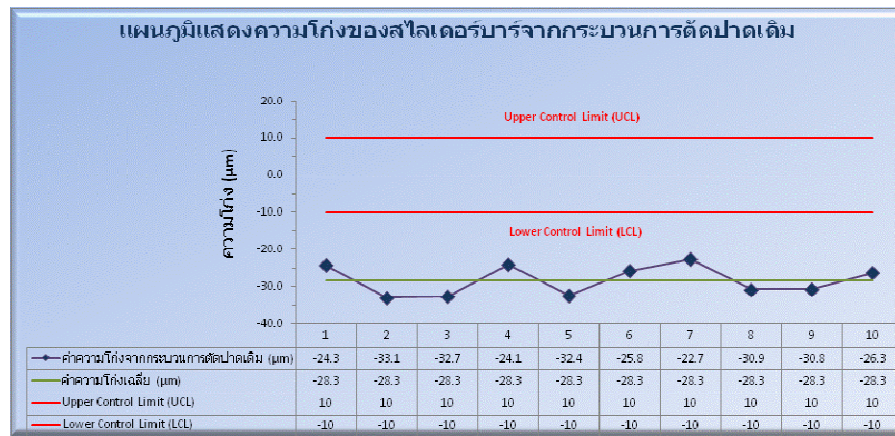
1. ผลการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดแปดเดิม โดยการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.1 ผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากการทดลอง

ในกระบวนการตัดแปดเดิม ประกอบด้วยขั้นตอนของกระบวนการเจียรไนและกระบวนการตัดตามลำดับ



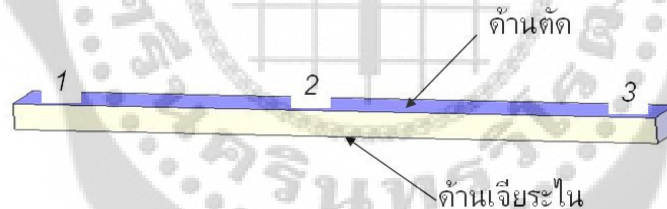
ภาพประกอบ 43 แสดงการกำหนดลักษณะความโค้งของสไลเดอร์บาร์



ภาพประกอบ 44 แผนภูมิแสดงค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดเดิมโดยการทดลอง

จากภาพประกอบ 44 พบว่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดเดิม มีค่าความโค้งสูงสุดเท่ากับ $-33.1 \mu\text{m}$ และค่าต่ำสุดเท่ากับ $-22.7 \mu\text{m}$ โดยมีค่าความโค้งเฉลี่ยเท่ากับ $-28.3 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่นอกเส้นค่าความโค้งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

1.2 ค่าความหยابผิวของสไลเดอร์บาร์จากการทดลอง



ภาพประกอบ 45 แสดงตำแหน่งการวัดความหยابผิวด้านตัดของสไลเดอร์บาร์

ตาราง 5 แสดงค่าความหยابผิวของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดเดิมจากการทดลอง

สไลเดอร์บาร์ที่ – ตำแหน่งการวัด	ค่าความหยابผิวของสไลเดอร์บาร์ (µm)
1-1	17.9
1-2	12.4
1-3	9.2
2-1	21.1
2-2	12.4

ตาราง 5 (ต่อ)

สไลเดอร์บาร์ที่ – ตำแหน่งการวัด	ค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ (μm)
2-3	10.3
3-1	16.6
3-2	12.0
3-3	8.7
4-1	21.5
4-2	13.4
4-3	8.8
5-1	21.7
5-2	12.8
5-3	11.3
6-1	19.1
6-2	13.1
6-3	7.6
7-1	19.9
7-2	12.8
7-3	9.2
8-1	21.1
8-2	11.7
8-3	9.1
9-1	17.5
9-2	13.1
9-3	12.0
10-1	19.9
10-2	12.0
10-3	9.3
ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย	13.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.5

จากตาราง 5 พบว่าค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ $13.9 \mu\text{m}$ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $4.5 \mu\text{m}$ ซึ่งค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์อยู่ภายใต้ค่าควบคุมกำหนดคือ $50 \mu\text{m}$

1.3 เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดเดิม

จากขั้นตอนของกระบวนการตัดปาดคือ กระบวนการเจียรระไนที่ความลึก $1.02 \times 10^{-5} \text{ m}$ ต่อการเจียรระไน 1 ครั้ง แต่ต้องเจียรระไน 2 ครั้ง (เพื่อป้องกันการแตกและร้าวของเวเฟอร์จากกระบวนการเจียรระไน) ใช้อัตราป้อนเท่ากับ 0.457 m/min และแผ่นเวเฟอร์มีขนาดเฉลี่ย 0.1397 m ส่วนกระบวนการตัดใช้อัตราป้อนเท่ากับ 0.254 m/min และจากการออกแบบแผ่นเวเฟอร์จะมี 490 สไลเดอร์บาร์ต่อเวเฟอร์ ดังนั้น

กระบวนการเจียรระไนใช้เวลาเฉลี่ยต่อ 1 แผ่นเวเฟอร์คือ

$$t_{(\text{grinding process})} = \frac{0.1397 \times 2 \times 490}{0.457} = 299.58 \text{ min}$$

กระบวนการตัดใช้เวลาเฉลี่ยต่อ 1 แผ่นเวเฟอร์คือ

$$t_{(\text{cutting process})} = \frac{0.1397 \times 1 \times 490}{0.254} = 279.4 \text{ min}$$

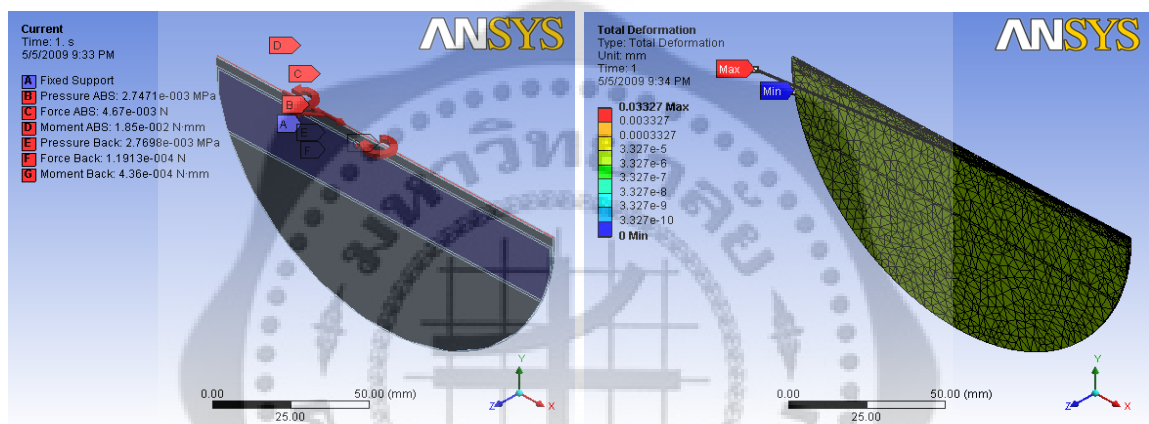
เวลารวมที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดเดิมเฉลี่ย = $299.58 + 279.4 = 578.98 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

1.4 ผลการวิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิม โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Ansys11.0 เพื่อวิเคราะห์หาความโค้งของสไลเดอร์บาร์ โดยยึดโมเดลของเวเฟอร์อยู่กับที่ได้ผลลัพธ์ค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์ ภายใต้เงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดเดิม ซึ่งได้จากการคำนวณหาภาระที่กระทำบนสไลเดอร์บาร์ ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงเงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดเดิม โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ภาระที่กระทำบนสไลเดอร์บาร์	ด้านผิวรองสีนออากาศจาก กระบวนการเจียรระไน	ด้านหลังของสไลเดอร์บาร์จาก กระบวนการตัด
Pressure (Mpa)	2.747×10^{-3}	2.769×10^{-3}
Force (N)	4.67×10^{-3}	1.191×10^{-4}
Moment (Nmm)	1.85×10^{-2}	4.36×10^{-4}



ภาพประกอบ 46 ภาพ 3 มิติของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิม โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากภาพประกอบ 46 พบว่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิม โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ $-33.27 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่นอกเส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

1.5 การเปรียบเทียบผลความโก่งของสไลเดอร์บาร์ จากกระบวนการตัดปาดเดิม โดยการทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตาราง 7 การเปรียบเทียบผลความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิม โดยการทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ค่าความโก่งจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการตัดปาดเดิม (μm)	ค่าเฉลี่ยความโก่งจากการทดลองของกระบวนการตัดปาดเดิม (μm)	ค่าความแตกต่างระหว่างระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง (%)
-33.27	-28.30	17.56%

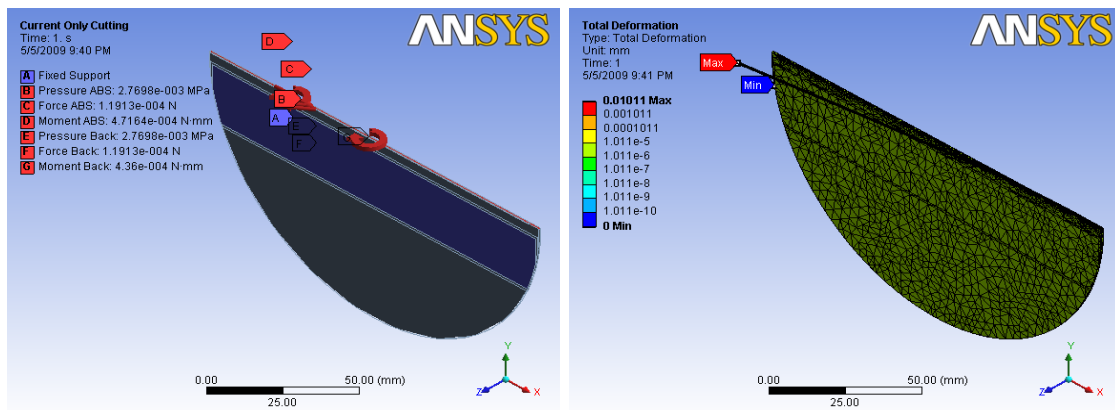
จากตาราง 7 พบว่าค่าเฉลี่ยความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากการทดลองเท่ากับ $-28.3 \mu\text{m}$ และค่าความโก่งจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ $-33.27 \mu\text{m}$ ซึ่งมีความแตกต่างกันเท่ากับ 17.56%

1.6 ผลการวิเคราะห์ความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตาราง 8 แสดงเงื่อนไขกระบวนการตัดปาดเดิมด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ภาระที่กระทำบนสไลเดอร์บาร์	ด้านผิวงอขึ้นอากาศจากกระบวนการตัด	ด้านหลังของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัด
Pressure (Mpa)	2.769×10^{-3}	2.769×10^{-3}
Force (N)	1.191×10^{-4}	1.191×10^{-4}
Moment (Nmm)	4.716×10^{-4}	4.360×10^{-4}

ตาราง 8 แสดงเงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดเดิมด้วยการตัดอย่างเดี่ยว ซึ่งได้จากการคำนวณหาภาระที่กระทำบนสไลเดอร์บาร์



ภาพประกอบ 47 ภาพ 3 มิติของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

จากภาพประกอบ 47 พบว่าการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์เท่ากับ $-10.11 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่นอกเส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

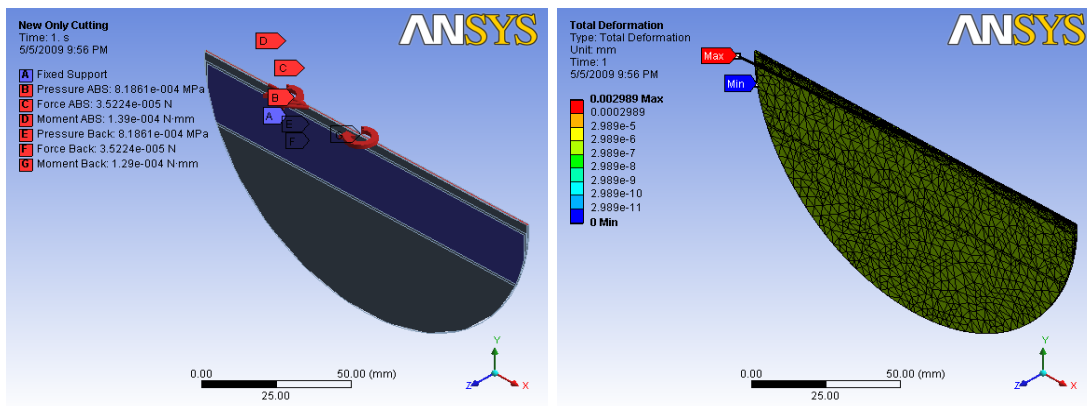
2. ผลการวิเคราะห์ความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง

2.1 ผลการวิเคราะห์ความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยการตัดอย่างเดี่ยวโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ ด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการคำนวณหาภาระที่กระทำบนสไลเดอร์บาร์ ดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงเงื่อนไขของกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ภาระที่กระทำบนสไลเดอร์บาร์	ด้านผิวงอเส้นอากาศ จากกระบวนการตัด	ด้านหลังของสไลเดอร์บาร์ จากกระบวนการตัด
Pressure (Mpa)	8.186×10^{-4}	8.186×10^{-4}
Force (N)	3.522×10^{-5}	3.522×10^{-5}
Moment (Nmm)	1.39×10^{-4}	1.29×10^{-4}

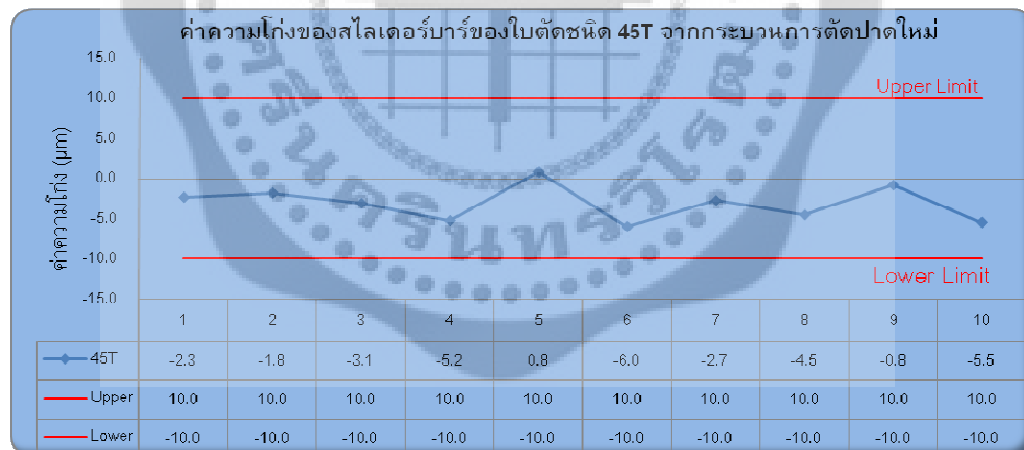


ภาพประกอบ 48 ภาพ 3 มิติของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยการตัดอย่างเดี่ยว โดยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

จากภาพประกอบ 48 พบว่าค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ $-2.99 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายในเส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

2.2 ผลการทดลองของไบต์ดชนิด 45T จากกระบวนการตัดปาดใหม่

ค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยไบต์ดชนิด 45T



ภาพประกอบ 49 แผนภูมิแสดงค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบต์ดชนิด 45T

จากภาพประกอบ 49 พบว่าค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบต์ดชนิด 45T มีค่าความโก่งสูงสุด $0.8 \mu\text{m}$ และต่ำสุด $-6.0 \mu\text{m}$ โดยมีค่าความโก่งเฉลี่ยเท่ากับ $-3.03 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายในเส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

ผลของความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัดชนิด 45T

ตาราง 10 แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัดชนิด 45T

สไลเดอร์บาร์ที่ - ตำแหน่งในการวัด	ค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ชนิดใบตัด 45T (μm)
1-1	14.0
1-2	13.9
1-3	14.9
2-1	18.2
2-2	9.9
2-3	10.1
3-1	28.1
3-2	21.0
3-3	17.3
4-1	18.9
4-2	7.1
4-3	8.6
5-1	21.8
5-2	23.7
5-3	15.4
6-1	10.8
6-2	8.2
6-3	8.1
7-1	11.3
7-2	9.4
7-3	10.2
8-1	20.3
8-2	33.8
8-3	31.6

ตาราง 10 (ต่อ)

สไลเดอร์บาร์ที่ - ตำแหน่งในการวัด	ค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ชนิดไบตัด 45T (μm)
9-1	17.5
9-2	31.7
9-3	36.4
10-1	11.0
10-2	9.1
10-3	11.0
ค่าความหยาบเฉลี่ย	16.8
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.4

จากตาราง 10 พบว่าค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย $16.8 \mu\text{m}$ ซึ่งค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์อยู่ภายใต้เส้นควบคุมคือ $50 \mu\text{m}$

เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบตัดชนิด 45T

กระบวนการตัดใช้อัตราป้อนเท่ากับ 0.254 m/min และแผ่นเวเฟอร์มีขนาดเฉลี่ย 0.1397 m ดังนั้น

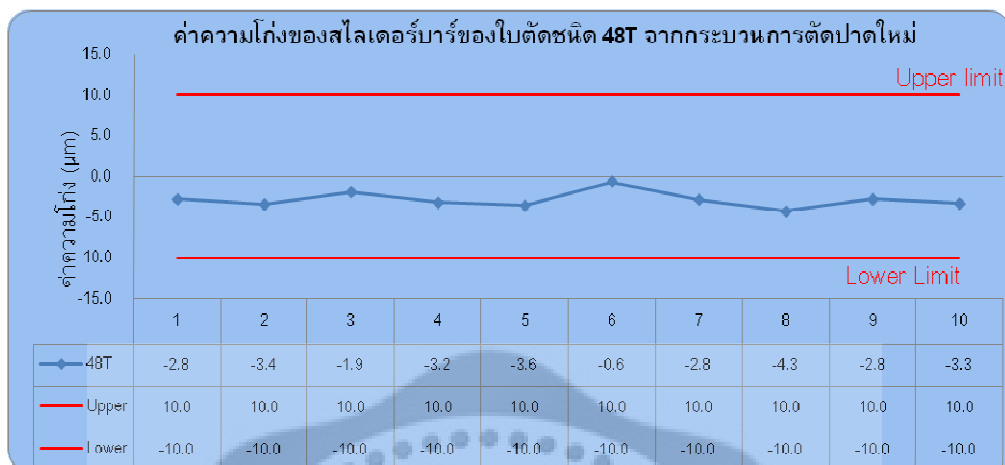
กระบวนการตัดใช้เวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งเวเฟอร์

$$t_{(\text{cutting process})} = \frac{0.1397 \times 2 \times 490}{0.254} = 539.0 \text{ min}$$

เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ย = $539.0 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

2.3 ผลการทดลองของใบตัดชนิด 48T จากกระบวนการตัดป่าดใหม่

ผลของความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดป่าดใหม่ด้วยใบตัดชนิด 48T



ภาพประกอบ 50 แผนภูมิแสดงค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดป่าดใหม่ของใบตัดชนิด 48T

จากภาพประกอบ 50 พบว่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดป่าดใหม่ของใบตัดชนิด 48T มีค่าความโค้งสูงสุด $-4.3 \mu\text{m}$ และต่ำสุด $-0.6 \mu\text{m}$ โดยมีค่าความโค้งเฉลี่ยเท่ากับ $-2.87 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความโค้งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

ผลของความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดป่าดใหม่ของใบตัดชนิด 48T

ตาราง 11 แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดป่าดใหม่ของใบตัดชนิด 48T

สไลเดอร์บาร์ที่ - ตำแหน่งในการวัด	ความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ชนิดใบตัด 48T (μm)
1-1	13.2
1-2	14.2
1-3	5.6
2-1	6.4
2-2	6.1
2-3	7.0
3-1	10.1

ตาราง 11 (ต่อ)

สไลเดอร์บาร์ที่ - ตำแหน่งในการวัด	ความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ชนิดไบทัด 48T (μm)
3-2	5.6
3-3	7.3
4-1	5.0
4-2	10.5
4-3	7.7
5-1	8.2
5-2	8.7
5-3	7.4
6-1	12.3
6-2	7.2
6-3	8.1
7-1	5.9
7-2	7.2
7-3	5.3
8-1	9.5
8-2	8.5
8-3	11.0
9-1	13.4
9-2	8.1
9-3	6.4
10-1	8.2
10-2	9.0
10-3	5.9
ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย	8.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.5

จากตาราง 11 พบว่าค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดใหม่ของ ไบต์ตชนิด 48T มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ $8.3 \mu\text{m}$ ซึ่งค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์อยู่ ภายใต้งัณฑ์ควบคุมคือ $50 \mu\text{m}$

เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบต์ตชนิด 48T

จากระบวนการตัดปาดใหม่ ในกระบวนการตัดใช้อัตราป้อนเท่ากับ 0.254 m/min และ แผ่นเวเฟอร์มีขนาดเฉลี่ย 0.1397 m ดังนั้น

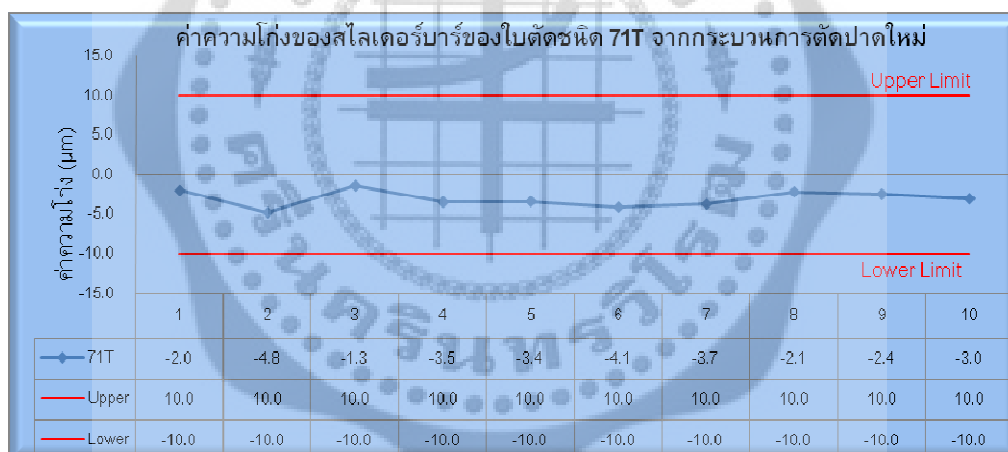
กระบวนการตัดใช้เวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งแผ่นเวเฟอร์

$$t_{(\text{cutting process})} = \frac{0.1397 \times 2 \times 490}{0.254} = 539.0 \text{ min}$$

เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ย = $539.0 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

2.4 ผลการทดลองของไบต์ตชนิด 71T จากระบวนการตัดปาดใหม่

ผลความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยไบต์ตชนิด 71T



ภาพประกอบ 51 แผนภูมิแสดงค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดใหม่ด้วย ไบต์ตชนิด 71T

จากภาพประกอบ 51 พบว่าค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากระบวนการตัดปาดใหม่ของ ไบต์ตชนิด 71T มีค่าความโก่งสูงสุด $-4.8 \mu\text{m}$ และต่ำสุด $-1.3 \mu\text{m}$ โดยมีค่าความโก่งเฉลี่ยเท่ากับ $-3.03 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้งัณฑ์ค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

ผลของความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัด
ชนิด 71T

ตาราง 12 แสดงค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัดชนิด 71T

สไลเดอร์บาร์ที่ - ตำแหน่งในการวัด	ความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ชนิดใบตัด 71T (μm)
1-1	14.4
1-2	15.3
1-3	15.5
2-1	16.5
2-2	17.5
2-3	20.2
3-1	17.2
3-2	12.3
3-3	16.6
4-1	17.0
4-2	17.7
4-3	14.5
5-1	12.1
5-2	15.7
5-3	13.2
6-1	13.9
6-2	14.1
6-3	14.9
7-1	16.1
7-2	16.5
7-3	16.4
8-1	14.1
8-2	19.7
8-3	13.2

ตาราง 12 (ต่อ)

สไลเดอร์บาร์ที่ - ตำแหน่งในการวัด	ความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์ชนิดไบตัด 71T (μm)
9-1	17.1
9-2	15.3
9-3	17.0
10-1	13.5
10-2	12.1
10-3	18.4
ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย	15.6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.1

จากตาราง 12 พบว่าค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบตัดชนิด 71T มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย $15.6 \mu\text{m}$ ซึ่งค่าความหยาบผิวของสไลเดอร์บาร์อยู่ภายใต้เส้นควบคุมคือ $50 \mu\text{m}$

เวลาที่ใช้เฉลี่ยในกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบตัดชนิด 71T

จากกระบวนการตัดปาดใหม่ในกระบวนการตัดใช้อัตราป้อนเท่ากับ 0.254 m/min และแผ่นเวเฟอร์มีขนาดเฉลี่ย 0.1397 m ดังนั้น

กระบวนการตัดใช้เวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งแผ่นเวเฟอร์

$$t_{\text{(cutting process)}} = \frac{0.1397 \times 2 \times 490}{0.254} = 539.0 \text{ min}$$

เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ย = $539.0 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

2.5 การเปรียบเทียบผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยใบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T

ตาราง 13 การเปรียบเทียบผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ด้วยใบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T

ชนิดใบตัด	ค่าความโค้งเฉลี่ยจากการทดลองด้วยกระบวนการตัดปาดใหม่ (μm)	ค่าความโค้งจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยกระบวนการตัดปาดใหม่ (μm)	ค่าความแตกต่างระหว่างการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (%)
45T	-3.03	-2.99	1.34%
48T	-2.87	-2.99	4.01%
71T	-3.03	-2.99	1.34%

จากตาราง 13 พบว่าค่าความโค้งจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าเท่ากับ $-2.99 \mu\text{m}$ และ ค่าเฉลี่ยความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากการทดลองด้วยกระบวนการตัดปาดใหม่ เท่ากับ -3.03 , -2.87 และ $-3.03 \mu\text{m}$ โดยใช้ใบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T ตามลำดับจากการเปรียบเทียบค่าความโค้ง ทำให้มีค่าความแตกต่างระหว่างการทดลองและจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 1.34%, 4.01% และ 1.34% ตามลำดับ

2.6 การเปรียบเทียบผลค่าความโค้งเฉลี่ย, ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย และ เวลาที่ใช้เฉลี่ยในกระบวนการตัดปาดใหม่

ตาราง 14 แสดงการเปรียบเทียบผลความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัดทั้ง 3 ชนิด

ชนิดของใบตัด	45T	48T	71T
ค่าความโค้งเฉลี่ยจากการทดลองกระบวนการตัดปาดใหม่ (μm)	-3.03	-2.87	-3.03
ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์ (μm)	16.8	8.3	15.6
เวลาที่ใช้เฉลี่ยในกระบวนการตัดปาดใหม่ (min)	539.0	539.0	539.0

จากตาราง 14 พบว่าค่าความโก่งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากการทดลองด้วยกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าเท่ากับ -3.03, -2.87 และ -3.03 μm โดยใช้ใบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T ตามลำดับ มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 16.8, 8.3 และ 15.6 μm ตามลำดับ และใช้เวลาในกระบวนการตัดปาดใหม่ทั้ง 3 ชนิดใบตัดเท่ากันคือ 539.0 min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์

3. ผลการเปรียบเทียบกระบวนการตัดปาดเดิมและกระบวนการตัดปาดใหม่ โดยการทดลอง

ตาราง 15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตัดปาดเดิมและกระบวนการตัดปาดใหม่ โดยการทดลอง

กระบวนการตัด ใบตัดชนิด	กระบวนการตัด ปาดเดิม	กระบวนการตัดปาดใหม่		
	71T	45T	48T	71T
กระบวนการ	เจียรระไนและตัด	ตัดอย่างเดียว		
ค่าความโก่งเฉลี่ย (μm)	-28.30	-3.03	-2.87	-3.03
ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (μm)	13.90	16.8	8.3	15.6
เวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดเฉลี่ย/หนึ่งแผ่น เวเฟอร์ (min)	578.98	539.0	539.0	539.0
จำนวนสไลเดอร์บาร์ที่ทดลอง (สไลเดอร์บาร์)	10	10	10	10
จำนวนสไลเดอร์บาร์ที่เสียจากการทดลอง (สไลเดอร์บาร์)	10	0	0	0
จำนวนของเสียจากค่าความโก่งของ สไลเดอร์บาร์จากการทดลอง (%)	100%	0%	0%	0%

จากตาราง 15 การเปรียบเทียบกระบวนการตัดปาดเดิมกับกระบวนการตัดปาดใหม่ พบว่ากระบวนการตัดปาดเดิมมีการเจียรระไนและการตัดแผ่นเวเฟอร์ แต่กระบวนการตัดปาดใหม่มีการตัดเพียงอย่างเดียว

ค่าความโก่งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์ของใบตัดชนิด 71T จากกระบวนการตัดปาดเดิมมีค่าเท่ากับ -28.30 μm และอยู่นอกเส้นค่าความโก่งควบคุม แต่ค่าความโก่งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T มีค่าเท่ากับ -3.03, -2.87 และ -3.03 μm ตามลำดับ ซึ่งอยู่ภายในเส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ ทุกชนิดใบตัด

ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยจากกระบวนการตัดปาดเดิมของใบตัดชนิด 71T เท่ากับ $13.90 \mu\text{m}$ และค่าความหยาบผิวเฉลี่ยจากกระบวนการตัดปาดใหม่ของใบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T เท่ากับ 16.8, 8.3 และ $15.6 \mu\text{m}$ ตามลำดับ ซึ่งผลค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของใบตัดทั้งสามชนิดอยู่ภายใต้เส้นค่าความหยาบควบคุม $50 \mu\text{m}$ ทั้งกระบวนการตัดปาดเดิมและกระบวนการตัดปาดใหม่

เวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งแผ่นเวเฟอร์ที่ใช้ในกระบวนการตัดปาดเดิมเท่ากับ 578.98 min และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ต่อหนึ่งแผ่นเวเฟอร์ในกระบวนการตัดปาดใหม่เท่ากับ 539.0 min แสดงให้เห็นว่าสามารถลดเวลาในกระบวนการตัดปาดได้ 6.9%

การเปรียบเทียบจำนวนของเสียจากค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์ในการทดลอง ด้วยกระบวนการตัดปาดเดิมและกระบวนการตัดปาดใหม่ พบว่าจำนวนของเสียจากค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์ในกระบวนการตัดปาดเดิมมีค่าเท่ากับ 100% แต่เมื่อปรับปรุงกระบวนการตัดปาดใหม่ พบว่าไม่พบของเสียจากค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองหาความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดและการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงทำให้สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์ความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดด้วยการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. ปรับปรุงกระบวนการตัดปาดสไลเดอร์บาร์
3. เปรียบเทียบความโค้ง, ความหยาบผิว, และเวลาระหว่างกระบวนการตัดปาดก่อนและหลังปรับปรุง

1. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากกระบวนการตัดปาดเดิมมีค่า เท่ากับ $-33.27 \mu\text{m}$ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกระบวนการตัดปาดเดิมเฉลี่ยของใบตัดชนิด 71T คือ $-28.30 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่นอกเส้นค่าความโค้งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ และมีค่าความโค้งแตกต่างกันระหว่างระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองเท่ากับ 17.56% มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ $13.9 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความหยาบผิวควบคุม $50 \mu\text{m}$ และใช้เวลาในกระบวนการตัดปาดเดิมเฉลี่ยเท่ากับ $578.98 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่า เท่ากับ $-2.99 \mu\text{m}$ พบว่าจากการทดลองค่าความโค้งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์ของใบตัดชนิด 45T มีค่าเท่ากับ $-3.03 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความโค้งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ มีค่าความโค้งแตกต่างกันระหว่างการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 1.34% มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ $16.8 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความหยาบผิวควบคุม $50 \mu\text{m}$ และใช้เวลาในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ยเท่ากับ $539.0 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

ใบตัดชนิด 48T มีค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เท่ากับ $-2.99 \mu\text{m}$ และผลจากการทดลองจากกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าความโค้งเฉลี่ย เท่ากับ $-2.87 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความโค้งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ มีค่าความโค้งแตกต่างกันระหว่างการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 4.01% มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ $8.3 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความหยาบผิวควบคุม $50 \mu\text{m}$ และใช้เวลาในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ยเท่ากับ $539.0 \text{ min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์}$

ใบตัดชนิด 71T มีค่าความโค้งของสไลเดอร์บาร์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เท่ากับ $-2.99 \mu\text{m}$ และผลจากการทดลองจากกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าความโค้งเฉลี่ย เท่ากับเท่ากับ $-3.03 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความโค้งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ และมีค่าความโค้งแตกต่างกันระหว่างการ

ทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 1.34% มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 15.6 μm ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นความหยาบผิวควบคุม 50 μm และใช้เวลาในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ยเท่ากับ 539.0 min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์

การเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตัดปาดเดิมกับกระบวนการตัดปาดใหม่ มีดังนี้

1. กระบวนการตัดปาดเดิมมีกระบวนการเจียรระไนและกระบวนการตัด แต่กระบวนการตัดปาดใหม่มีกระบวนการตัดเพียงอย่างเดียว

2. ค่าความโก่งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมของไบตัดชนิด 71T มีค่าเท่ากับ -28.30 μm อยู่นอกเส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ แต่กระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าความโก่งเฉลี่ยของไบตัดชนิด 45T, 48T และ 71T เท่ากับ -3.03, -2.87, และ -3.03 μm ตามลำดับ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$

3. ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดเดิมของไบตัดชนิด 71T มีค่าเท่ากับ 13.90 μm และค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่ของไบตัดชนิด 45T, 48T, และ 71T เท่ากับ 16.8, 8.3, และ 15.6 μm ตามลำดับ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความหยาบผิวควบคุม 50 μm ทั้ง 2 กระบวนการตัดปาดและทุกชนิดไบตัด

4. เวลาที่ใช้เฉลี่ยในกระบวนการตัดปาดเดิมเท่ากับ 578.98 min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์ และกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 539.0 min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์ สามารถลดเวลาในกระบวนการตัดปาดลงได้ 6.9%

จากผลการวิจัยพบว่าไบตัดชนิด 48T เป็นไบตัดที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานในกระบวนการตัดปาดใหม่โดยมีค่าความโก่งเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ -2.87 μm และมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 8.3 μm และใช้เวลาในกระบวนการตัดปาดใหม่เฉลี่ยคือ 539.0 min/หนึ่งแผ่นเวเฟอร์

2. อภิปรายผล

ค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดในขั้นตอนของการเจียรระไน มีสาเหตุมาจากล้อเจียรระไนที่ใช้ขนาดของเกรนเพชรที่มีความละเอียดและความหยาบแตกต่างกัน กล่าวคือขนาดของเกรนเพชรที่มีความละเอียดจะมีการคายเศษชิ้นงานไม่ดี และเกิดการสะสมของเศษชิ้นงานที่บริเวณผิวคมตัดของล้อเจียรระไน เป็นสาเหตุให้เกิดแรงต้านและแรงต้านนี้จะสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นทำให้แรงที่ใช้ในการเจียรระไนเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ชิ้นงานรับแรงมากขึ้น มีผลทำให้สไลเดอร์บาร์เกิดความโก่ง ส่วนขนาดของเกรนเพชรที่มีความหยาบการคายเศษชิ้นงานจะดีกว่า แรงตัดเฉือนที่กระทำกับชิ้นงานก็น้อยกว่า มีผลทำให้สไลเดอร์บาร์เกิดความโก่งน้อยกว่าอีกด้วย

จากการทดลองไบตัด 3 ชนิด พบว่าไบตัดชนิด 48T มีค่าความโก่งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดใหม่มีค่าสูงสุดเท่ากับ -2.87 μm และมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 8.3 μm และไบตัดชนิด 45T และ 71T มีค่าความโก่งเฉลี่ยของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาด

ใหม่ต่ำสุดและเท่ากันคือ $-3.03 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ภายใต้เส้นค่าความโก่งควบคุม $0 \pm 10 \mu\text{m}$ ทั้ง 3 ชนิดใบตัด และมีค่าความหยาบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 16.8 และ 15.6 μm ของใบตัดชนิด 45T และ 71T ตามลำดับ และอยู่ภายใต้เส้นค่าความหยาบผิวควบคุม $50 \mu\text{m}$ ทั้ง 3 ชนิดใบตัดด้วยเช่นกัน

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

การหาค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์สามารถหาได้จากการทดลองและ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ความเร็วของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งสำคัญที่จะเพิ่มจำนวนครั้งในการวิเคราะห์ให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น การเพิ่มความละเอียดของเอลิเมนต์ทำให้สามารถหาค่าความโก่งได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น และการใช้โปรแกรมลิขสิทธิ์สำหรับผู้วิจัยทำให้สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยได้อีกด้วย

3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย

การวัดค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์ต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดและความแม่นยำในการวัดมาก ดังนั้นการสอบเทียบและการปรับเทียบจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้ผลค่าความโก่งที่ถูกต้องมากที่สุด การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แรงและทิศทางที่กระทำกับชิ้นงานมีผลโดยตรงกับการวิเคราะห์ค่าความโก่งของสไลเดอร์บาร์

ความโก่งของสไลเดอร์บาร์จากกระบวนการตัดปาดจากการทดลอง ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในกระบวนการตัดปาด ตัวแปรต้นคือ ล้อเจียร์ไน, ความเร็วรอบในการเจียร์ไน, ความลึกในการเจียร์ไน, อัตราป้อนในการเจียร์ไน, ใบตัด, ความเร็วรอบในการตัด, ความลึกในการตัด, อัตราป้อนในการตัด และการหาค่าตัวแปรอื่นที่เหมาะสม



บรรณานุกรม

- เดช พุทธเจริญทอง (2538) *กลศาสตร์ของแข็งพิมพ์ครั้งที่ 5* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ศูนย์สื่อเสริม กรุงเทพฯ.
- เดช พุทธเจริญทอง (2541) *การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พิมพ์ครั้งที่ 2* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ศูนย์สื่อเสริม กรุงเทพฯ.
- Bo Liu; Mingsheng Zhang; Shengkai Yu; Leonard Gonzaga; Yuet Sim Hor; Jianfeng Xu. (2003). *Femto Slider: Fabrication and Evaluation*. IEEE Trans. Magn. Vol.39 No.2 March 2003. from <http://www.ieee.org/>
- Farago, Francis T. (1977). *Abrasive methods engineering*. General motors corporation. Industrial press inc., 200 Madison Avenue. New yoke.
- Gatzen, H.H.; Morsback, C.; Siekmann, H.; Zeadam, J. (1999). *Slicing Induced ABS-Cambering in Thin Film Pico Sliders*. IEEE Trans. Magn. Vol. 35. No. 5. September 1999. from <http://www.ieee.org/>
- Ghenis, B.; Doktor, L.; Tergan, V. (196?). *Cylindrical grinding practice*. MIR publishers. Moscow. Translator by Isserlis G.
- Krar, Steve F. (1995). *Grinding technology*. Second edition. Delmar publishers Inc. Albany. Bonn. Boston. Cincinnati. Detroit. London. Madrid. Melbourne. Mexico city. New yoke. Pacific grove. Paris. San Francisco. Singapore. Tokyo. Toronto. Washington.
- Krisada Asawarungsaengkul. (2002). *Quality Improvement on the Slider Cutting Process*. Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vo. 7, No. 2, May-August 2002
- Marinescu, Loan D.; Tonshoff, Hans K.; Inasaki Ichiro. (2000). *Handbook of ceramic grinding and polishing*. Noyes publications park ridge New Jersey U.S.A. Pages 190-227. 2000.

Matsumaru Koji; Takata Atsushi; Ishizaki Kozo. (2005). *Advanced thin dicing blade for sapphire substrate*. Science and Technology of Advance Materials. Vol. 6. Issue 2. March 2005. Pages 120-122. from <http://www.ieee.org/>

SeongMin Son; HanSeok Lin; Junghwan Ahn. (2006). *The effect of vibration cutting on minimum cutting thickness*. International Juarnal of Machine Tools and Manufacture. Vol. 46. Issue 15 Decemver 2006. Pages 2066-2072.

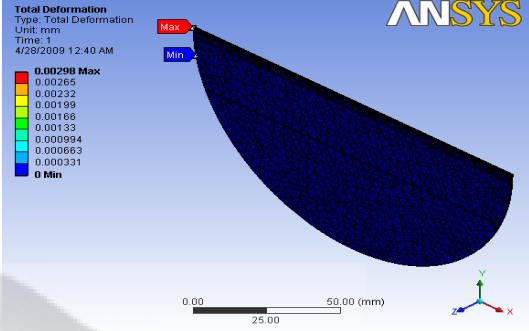
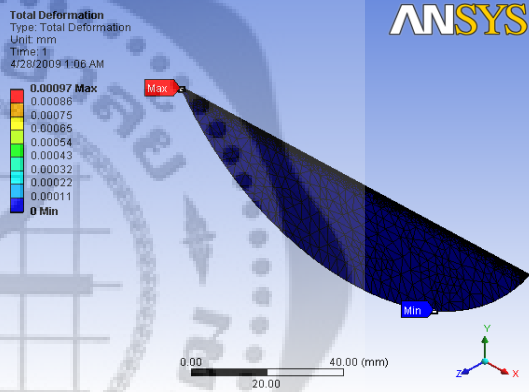
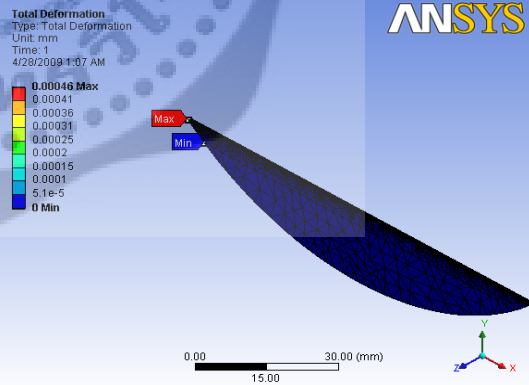
Zhang, J.; Talke, F. (2003). *Sensitivity analysis of pick and Femto sliders*. Center for Magnetic Recording Research: University of California San Diego USA. January 2003. from <http://www.ieee.org/>



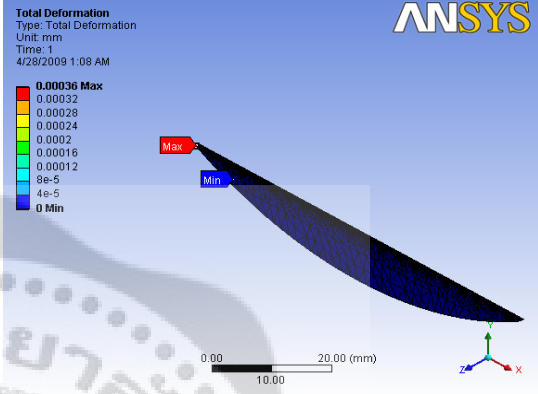
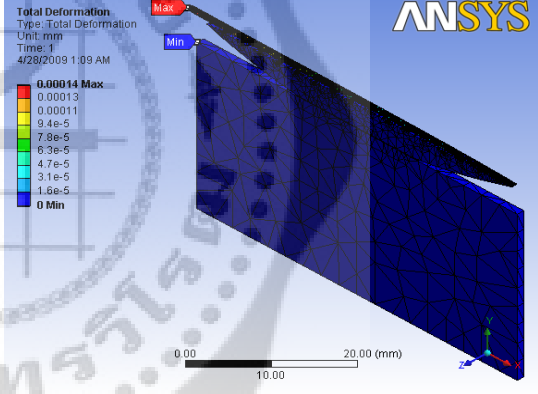


ภาคผนวก

แสดงผลการวิเคราะห์ของแผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดแตกต่างกันจากการตัด
อย่างเดี่ยว โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เวเฟอร์ (mm)	ค่าความโก่ง ของสไลเดอร์บาร์ (μm)	รูปภาพ
156	-2.98	 <p>ANSYS Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 4/28/2009 12:40 AM</p> <p>0.00298 Max 0.00265 0.00232 0.00199 0.00166 0.00133 0.000994 0.000663 0.000331 0 Min</p> <p>0.00 50.00 (mm) 25.00</p>
127	-0.97	 <p>ANSYS Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 4/28/2009 1:06 AM</p> <p>0.00097 Max 0.00086 0.00075 0.00065 0.00054 0.00043 0.00032 0.00022 0.00011 0 Min</p> <p>0.00 40.00 (mm) 20.00</p>
101.6	-0.46	 <p>ANSYS Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 4/28/2009 1:07 AM</p> <p>0.00046 Max 0.00041 0.00036 0.00031 0.00025 0.0002 0.00015 0.0001 5.1e-5 0 Min</p> <p>0.00 30.00 (mm) 15.00</p>

ภาพประกอบ 52 (ต่อ)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เวเฟอร์ (mm)	ค่าความโก่ง ของสไลเดอร์บาร์ (μm)	รูปภาพ
76.2	-0.36	
50.8	-0.14	

ภาพประกอบ 52 แสดงภาพ 3 มิติของแผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดแตกต่างกัน ด้วยเงื่อนไขการตัดอย่างเดียวกัน โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากภาพประกอบ 52 พบว่าที่แผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดความยาว 156 mm ใช้เงื่อนไขกระบวนการตัดอย่างเดียวกัน โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าความโก่งเท่ากับ 2.98 μm

แผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดความยาว 127 mm ใช้เงื่อนไขกระบวนการตัดอย่างเดียวกัน โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าความโก่งเท่ากับ 0.97 μm

แผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดความยาว 101.6 mm ใช้เงื่อนไขกระบวนการตัดอย่างเดียว โดย
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าความโก่งเท่ากับ 0.46 μm

แผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดความยาว 76.2 mm ใช้เงื่อนไขกระบวนการตัดอย่างเดียว โดย
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าความโก่งเท่ากับ 0.36 μm

แผ่นเวเฟอร์ที่มีขนาดความยาว 50.8 mm ใช้เงื่อนไขกระบวนการตัดอย่างเดียว โดย
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าความโก่งเท่ากับ 0.14 μm





ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	อนุชา นนท์ประสาท
วัน-เดือน-ปี เกิด	21 พฤศจิกายน 2512
สถานที่เกิด	บ้านท่าชัย ต. ท่าชัย อ. ศรีสัชชนาลัย จ.สุโขทัย 64190
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	14/81 ม.1 หมู่บ้านพรพรรณนิภา ต.คลองสี่ อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด 140 ม.2 นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน ถนนอุดมสมบูรณ์ ต. คลองจิก อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา 13160
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2526 มัธยมศึกษาตอนต้น ร.ร. ท่าชัยวิทยา จังหวัด สุโขทัย พ.ศ. 2532 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ ร.ร. เทคโนโลยีละโว้ จังหวัด ลพบุรี พ.ศ. 2540 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น กรุงเทพฯ พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โครงการร่วม ร.ร. นายร้อย พระจุลจอมเกล้า จังหวัด นครนายก