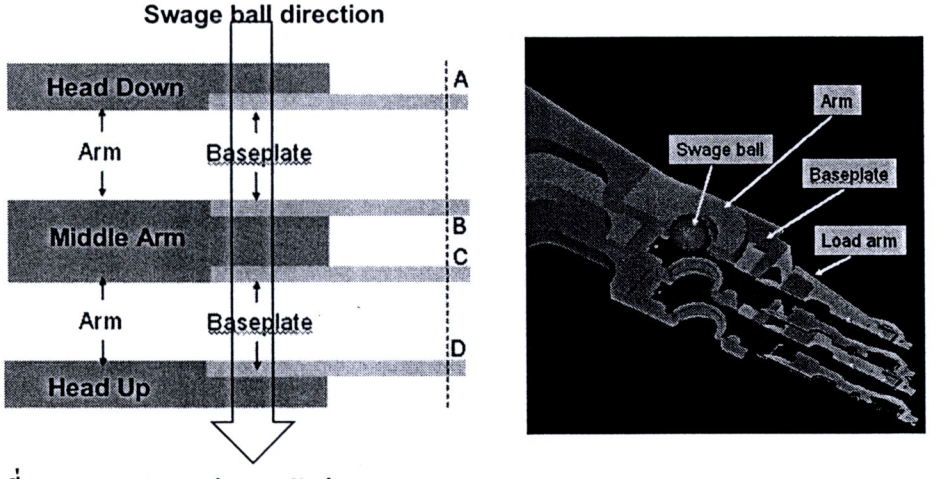
บทที่ 5
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการเสียรูปจากกระบวนการตอกขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS จะเลือกข้อมูลมาจากช่วงเวลาที่คงที่ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 โดยในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษา การเสียรูปที่ทำให้เกิดค่า ค่าระยะความสูงเปลี่ยนแปลงของเบสเพลทและค่ามุมก้ม-เงยของเบสเพลทที่เปลี่ยนแปลงไปจากการตอกขึ้นรูปเมื่อกระทำในแต่ละตำแหน่งหัวอ่าน ดังภาพที่ 22

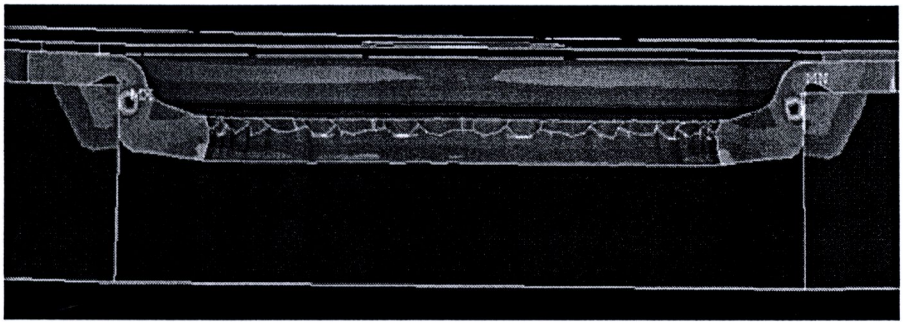


ภาพที่ 22 แสดงตำแหน่งของหัวอ่าน

1.1 หัวอ่านหงายหน้าขึ้น (Head Up)

1.1.1 การเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss)

ภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ลูกบอล (Swage ball) ถูกดันผ่านสเวจบอส (Swage boss) ทำให้สเวจบอส (Swage boss) ถูกดึงตัวลงมาด้านล่าง ตามแนวของลูกบอล (Swage ball) จนทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร กระบวนการนี้ ถูกเรียกว่า Retention Swage การเสียรูปนี้ทำให้มีความเครียดเกิดขึ้นที่ให้สเวจบอส (Swage boss) และ Arm ทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกัน

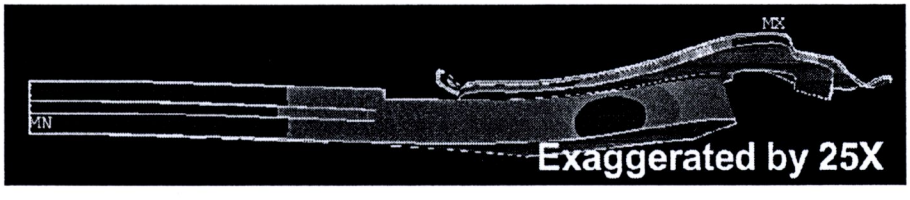


ภาพที่ 23 การเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss) ที่เกิดขึ้นการการตอกขึ้นรูป (Head up)

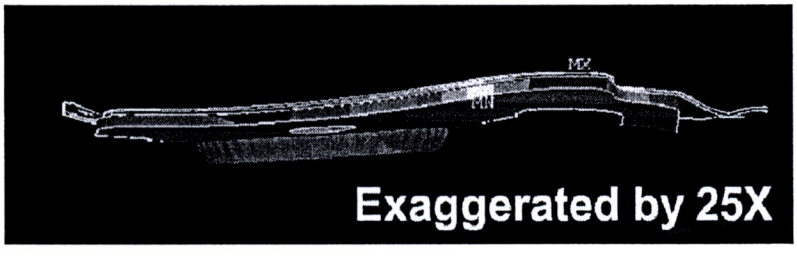
1.1.2 การเสียรูปของ Arm และ Baseplate

จากการเสียรูปของสเวจบอสเนื่องจากบอลวิ่งผ่านทำให้แขนจับหัวอ่านเขียนและแผ่นฐานเสียรูปไปด้วย การเสียรูปของปลายแขนจับหัวอ่านเขียน นั้นเกิดขึ้นมาจากแรงผลักที่มาจากการเสียรูปของเสวจบอสมาดันที่รู ของแขนจับหัวอ่านเขียนจึงทำดให้ปลายของแขนจับหัวอ่านเขียนแอ่นตัว ขึ้น ส่วนการเสียรูปของแผ่นฐานเกิดขึ้นจากการเสียรูปของเสวจบอสบริเวณ รีรีฟริง (Relief Ring)

ตามภาพที่ 24 (ก) ส่วนการเสียรูปของ Baseplate นั้น เนื่องจาก Baseplate และสเวจบอส (Swage boss) เป็นชิ้นเดียวกัน การเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss) ทำให้ Baseplate เสียรูปเป็นรูปแอ่งกระทะตามภาพที่ 24 (ข) แต่เนื่องจากขณะทำการตอกขึ้นรูปจะมี Swage key กดทับลงบน Baseplate ไว้ จึงทำให้ปลายของ Baseplate แอ่นลงด้านล่าง



(ก)



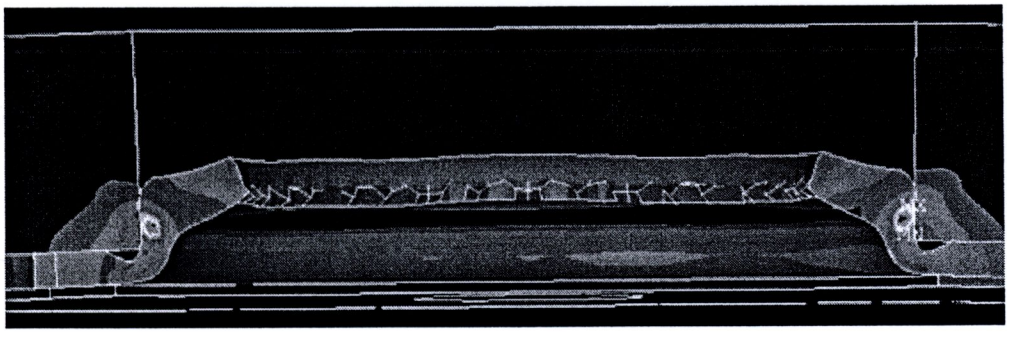
(ข)

ภาพที่ 24 การเสียรูปของ Arm และ Baseplate (Head up)

1.2 หัวอ่านคว่ำหน้าลง (Head down)

1.2.1 การเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss)

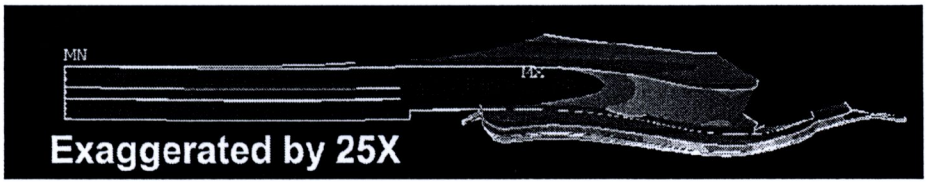
ภาพที่ 25 แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ Swage ball ได้ถูก ดันผ่านทำให้สเวจบอส (Swage boss) ถูกดันเข้าหา Arm จนทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า Compression Swage การเสียรูปนี้ทำให้มีความเครียดเกิดขึ้นที่ Swage boss และ Arm ทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกัน



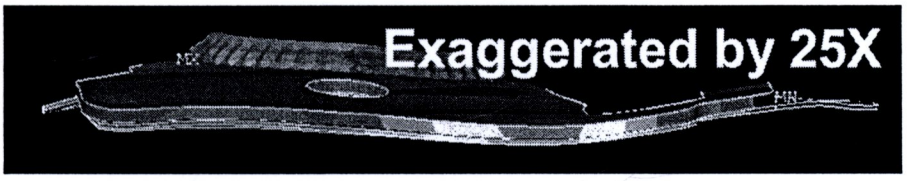
ภาพที่ 25 การเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss) ที่เกิดขึ้นการการตอกขึ้นรูป (Head down)

1.2.2 การเสียรูปของ Arm และ Baseplate

จากการเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss) จะทำให้ Arm และ Baseplate เสียรูปตามไปด้วยการเสียรูปของ Arm นั้นเกิดขึ้นมากจาก Stress จากแรงของ Swage boss จึงทำให้ Arm เกิดการแอ่นตัวลงด้านล่าง ตามภาพที่ 26 (ก) ส่วนการเสียรูปของ Baseplate นั้น เนื่องจาก Baseplate และ Swage boss เป็นชิ้นเดียวกัน การเสียรูปของ Swage boss จึงทำให้ Baseplate เสียรูปเป็นรูปแอ่งกระทะตามภาพที่ 26 (ข) แต่เนื่องจากขณะทำการตอกขึ้นรูปจะมี Swage key กด Baseplate ไว้ ทำให้ปลายของ Baseplate แอ่นขึ้นด้านบน



(ก)



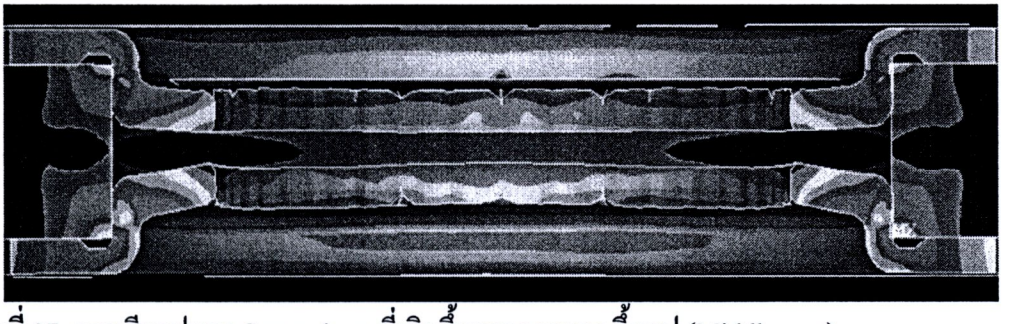
(ข)

ภาพที่ 26 การเสียรูปของ Arm และ Baseplate (Head down)

1.3 Arm กลาง (Middle Arm)

1.3.1 การเสียรูปของสเวจบอส (Swage boss)

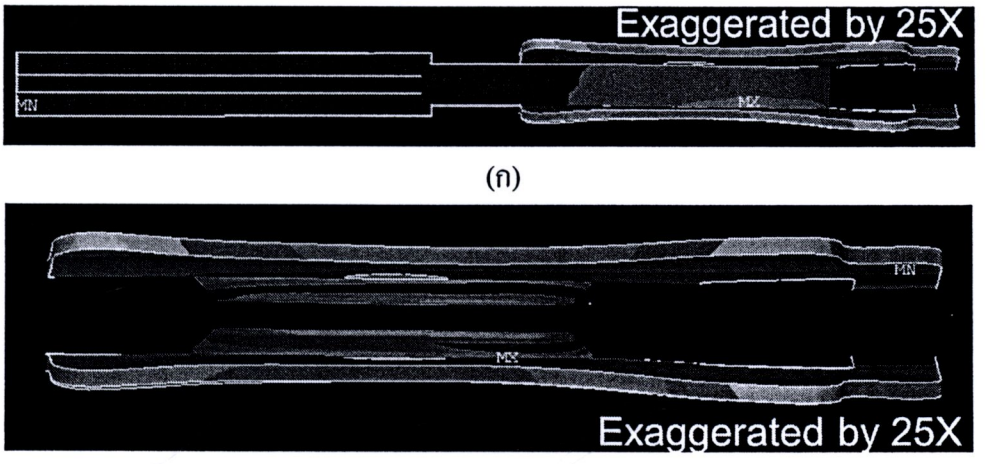
ภาพที่ 27 สำหรับ Arm กลาง จะเห็นว่ามี Baseplate สองชิ้นที่ต้อง ประกอบ ดังนั้น Swage ball จะดันผ่าน Swage boss ทั้งสองชิ้น จึงมีทั้งการดึงและการกดของ Baseplate ที่หงายหน้าขึ้นและคว่ำหน้าลง



ภาพที่ 27 การเสียรูปของ Swage boss ที่เกิดขึ้นการการตอกขึ้นรูป (Middle arm)

1.3.2 การเสียรูปของ Arm และ Baseplate

จากการเสียรูปของ Swage boss จะทำให้ Arm และ Baseplate เสียรูปตามไปด้วยการเสียรูปของ Arm นั้นเกิดขึ้นมากจาก Stress จากแรงของ Swage boss แต่เนื่องมาจาก Middle arm มีแรงจาก Swage boss ทั้งครึ่งบนและครึ่งล่าง จึงทำให้ การเสียรูปของ Arm หักล้างกัน จึงทำให้เกิดการแอ่นตัวเพียงเล็กน้อย ตามภาพที่ 28 (ก) ส่วนการเสียรูปของ Baseplate นั้น เนื่องจาก Baseplate และ Swage boss เป็นชิ้นเดียวกัน ดังนั้นการเสียรูปของ Swage boss จึงทำให้ Baseplate เสียรูปเป็นรูปแอ่งกระทะ เช่นเดียวกันตามภาพที่ 28 (ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 28 การเสียรูปของ Swage boss ที่เกิดขึ้นจากการตอกขึ้นรูป (Middle arm)

1.4 ผลของค่า Tip Height และ Tip Pitch ที่ได้จากโปรแกรม ANSYS

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลของค่า Tip Height และ Tip Pitch ที่จากการศึกษาด้วยวิธีทางไฟไนต์อิลิเมนต์กับค่าที่ได้จากการทดลองจริง พบว่าผลที่ได้มีค่าไปในทิศทางเดียวกันในทุกตำแหน่งของหัวอ่านเขียนข้อมูล ผลการศึกษาที่ได้นำมาใช้เป็นค่าตั้งต้นในการวิเคราะห์ค่ามุมของหัวอ่าน (PSA) ในขั้นตอนต่อไป

การเสียรูปของแผ่นฐานจะส่งผลกับค่าระนาบของหัวอ่านยิ่งมีการเสียรูปของแผ่นฐานมากก็จะยิ่งส่งผลถึงค่าระนาบของหัวอ่านที่เปลี่ยนแปลงไป ค่าที่ได้จากการจำลองและการทดลอง แตกต่างกันไปเนื่องจากแบบจำลองนั้นมีมิติทุกอย่างสมบูรณ์แต่ในงานจริงนั้นแผ่นฐานจะเป็นถ้วย (Cupping) และค่าระนาบที่ได้เป็นการนำค่าที่ได้จากการตอกขึ้นรูปมาใส่ในแบบจำลองที่สมบูรณ์ จึงมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเกิดขึ้นอยู่ช่วงที่สามารถยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการของผลิตภัณฑ์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยวิธีทางไฟไนต์อิลิเมนต์และจากการทดลองของค่า Tip Height และ Tip Pitch

Parameters		Tip Height (inch)		Tip Pitch (degree)	
		FEA	Actual	FEA	Actual
Head 0	Outer arm	0.00018	0.00040	-0.152	-0.219
Head 1	Inner arm	-0.00032	-0.00022	0.035	0.030
Head 2	Inner arm	0.00029	0.00047	-0.085	-0.055
Head 3	Outer arm	0.00041	0.00030	0.311	0.234

2. ผลการศึกษาค่า PSA ที่เปลี่ยนไปจากการเสียรูปของการตอกขึ้นรูปโดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

ค่ามุมของหัวอ่าน (PSA) วัดได้จากระนาบที่เปลี่ยนไปของหัวอ่าน (slider) ในการศึกษานี้จะนำค่า Tip Height และ Tip Pitch ซึ่งเกิดจากการเสียรูปของแผ่นฐาน ที่ได้จากการคำนวณการตอกขึ้นรูปมาเป็นตัวแปรตั้งต้นในแบบจำลองของ suspension และศึกษาค่า PSA ที่เปลี่ยนไปที่สภาวะการทำงาน (loaded state) ได้ผลการจำลองและการทดลองดังตารางที่ 3

อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่ช่วงที่สามารถยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการของผลิตภัณฑ์ ดังจะเห็นได้จากค่าของมุมที่คลาดเคลื่อนนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 องศา ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้องการในงานจริง

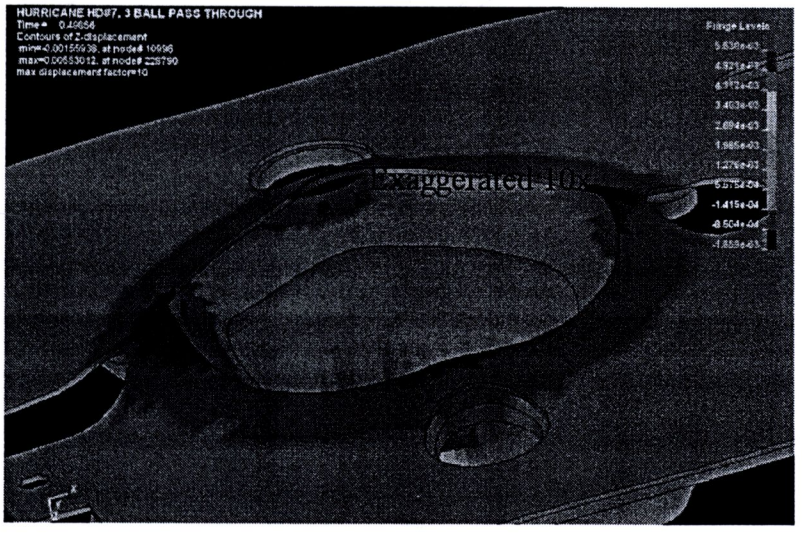
ตารางที่ 3 ค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมของหัวอ่าน (PSA) ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการตอกขึ้นรูป

Parameter		Pitch Static Attitude (degree)		
		FEA Result	Experiment data	%Difference
Head 0	Outer arm	-0.064	-0.080	21%
Head 1	Inner arm	-0.046	-0.044	-4%
Head 2	Inner arm	-0.069	-0.093	26%
Head 3	Outer arm	0.073	0.060	-21%

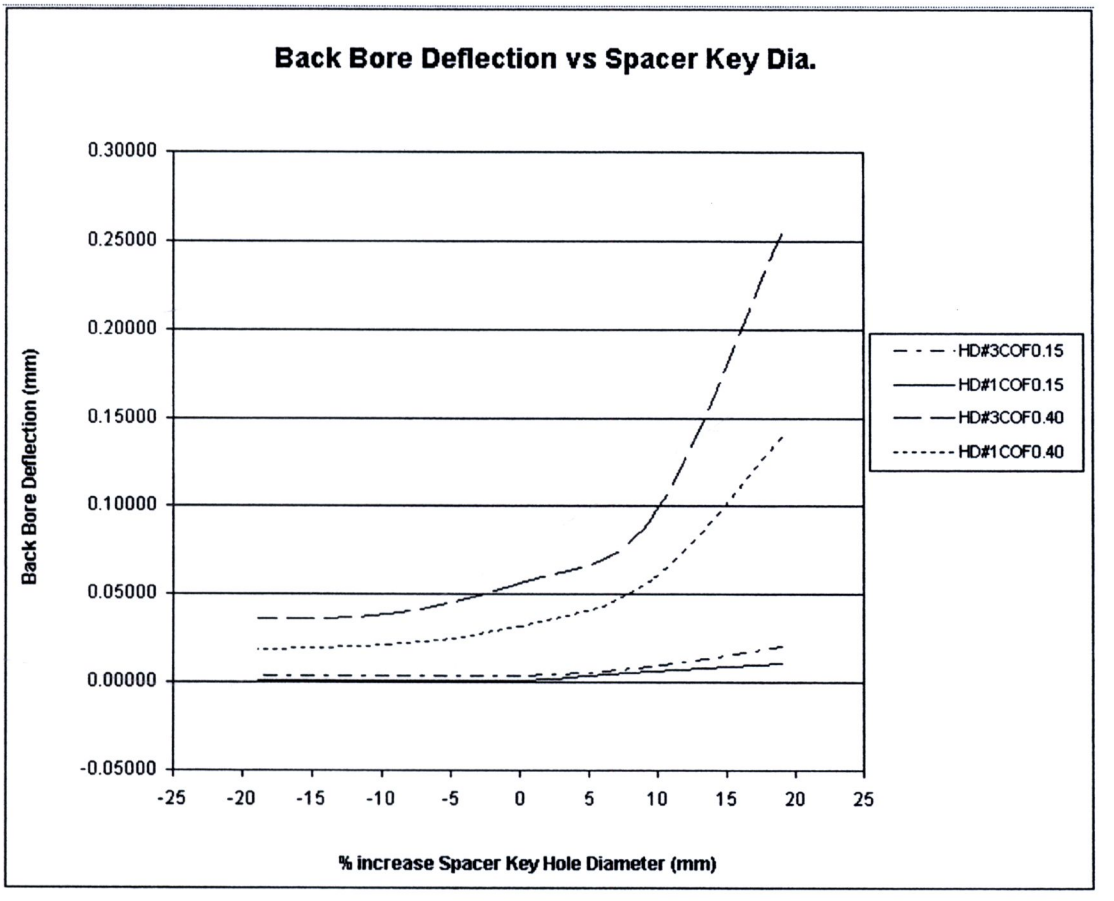
3. การศึกษาค่าผลของการเปลี่ยนแปลง Spacer key Hole Diameter โดยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

ปัญหาอย่างหนึ่งขณะทำการตอกขึ้นรูปคือสเวจบอส (Swage boss) เกิดการเสียหาย หรือเรียกอีกอย่างว่าสเวจพุชเอาท์ (Swage push out) ดังแสดงในภาพที่ 29

ตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อ ความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับสเวจพุชเอาท์ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูสเวจคีย์ ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูสเวจคีย์ และค่าแรงเสียด ทานระหว่างบอลและสเวจบอส ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปสู่การปรับปรุงและยืดอายุการใช้งานของตัวสเวจคีย์อีกด้วย



ภาพที่ 29 ลักษณะที่สเวจบอส (Swage boss) เกิดการเสียหาย



ภาพที่ 30 การเสียรูปของ back Bore กับ Spacer key Hole Diameter

โดยทั่วไปการยืดอายุของสเวจคีย์สามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสเวจคีย์ แต่ผลการศึกษากลับพบว่าถ้าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูของสเวจคีย์ใหญ่ขึ้นจะทำให้เกิดสเวจพุชเอาท์ มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 30 ที่แสดงให้เห็นว่ายิ่งเราเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูของสเวจคีย์จะทำให้เกิดสเวจพุชเอาท์ในค่าที่เพิ่มขึ้น และยิ่งไปกว่านั้น หากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้เกิดสเวจพุชเอาท์มากขึ้นไปอีก ตามความคิดเห็นของผู้วิจัย การเสียหายที่ยิ่งเพิ่มมากขึ้นจากการที่รูของสเวจคีย์ใหญ่ขึ้นนั้นเนื่องมาจากลูกบอลมีพื้นที่ในการเดินทางด้านข้างมากขึ้น ทำให้สเวจบอลมีโอกาศมากขึ้นที่จะไม่ได้เดินทางลงมาที่จุดศูนย์กลางของสเวจบอส และหากแรงเสียดทานมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้ความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นด้วย