บทที่ 3
การออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัด

3.1. ภาพรวมของการออกแบบ

ด้ามจับเครื่องมือตัด (Tool holder) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับติดตั้งเครื่องมือตัด (Cutting tool) เข้ากับป้อมเครื่องมือตัด (Turret) ของเครื่องกลึงซีเอ็นซี เพื่อใช้สำหรับกระบวนการตัดต่างๆ ด้ามจับเครื่องมือตัด มีลักษณะ และ รูปร่าง แตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งาน โดยหลักแล้ว ด้ามจับเครื่องมือตัด แบ่งประเภทตามลักษณะกระบวนการตัดกำจัดเนื้อวัสดุ อาทิเช่น ด้ามจับเครื่องมือตัดสำหรับกระบวนการกลึงจะมีรูปร่างเป็นแท่งยาว หรือ ด้ามจับเครื่องมือตัดสำหรับงานกัด จะมีลักษณะเป็นรูปวงกลมหมุนสามารถได้รอบ เป็นต้น ด้วยเหตุที่ด้ามจับเครื่องมือตัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับติดตั้งเครื่องมือตัด ซึ่งสามารถถอดเข้าออกนำไปติดตั้งกับป้อมเครื่องมือตัด (Turret) ของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเครื่องอื่นได้อย่างสะดวก หากมีขนาดของช่องติดตั้งเท่ากัน และหัวใจของการตัดแบบแบบสั่นนั้น อยู่ที่การสั่นเครื่องมือตัดระหว่างทำการกำจัดเนื้อวัสดุ ดังนี้เองการประยุกต์กลไกการสั่นเข้ากับด้ามจับเครื่องมือตัดให้มีความสามารถในการสั่นจึงประโยชน์สมเหตุสมผลที่สุด แทนที่จะประยุกต์กลไกการสั่นเข้ากับอุปกรณ์อย่างอื่นของเครื่องซีเอ็นซี

จากงานวิจัยของต่างประเทศ ได้มีการประยุกต์วิธีการตัดแบบสั่น เข้ากับด้ามจับเครื่องมือตัดที่ได้ออกแบบขึ้น ซึ่งมีการเลือกใช้วิธีการในการกระตุ้นให้ส่วนปลายของด้ามจับเครื่องมือสั่นซึ่งติดตั้งเครื่องมือตัดโดยอาศัยกลไกลที่ใช้ในการสั่นแตกต่างกันไป อาทิเช่น ในปี 1991 ได้มีการออกแบบโดยใช้ Bolted Langevin-type Transducer (BLT) ติดตั้งเข้ากับส่วนปลายด้านหนึ่งของด้ามจับเครื่องมือตัด และป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กับ BLT การสั่นของปลายเครื่องมือตัด จะมีลักษณะการสั่นที่เกิดขึ้นโดยตรงจาก BLT กล่าวคือเมื่อป้อนความถี่ของสัญญาณเข้าไปมีค่าเท่าไร เครื่องมือตัดจะสั่นด้วยความถี่เท่ากันกับสัญญาณที่ป้อน ข้อดีของการใช้วิธีการนี้คือ มีความแรงในการสั่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่นได้โดยไม่ต้องออกแบบโครงสร้างของด้ามจับเครื่องมือตัดใหม่ แต่ก็มีข้อเสียเช่นกัน คือถ้าต้องการให้มีการสั่นสองแกนพร้อมกันจะทำการออกแบบยาก ต่อมา ได้มีการนำตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) ที่เคลื่อนที่ตามแนว 1 แกน จำนวน 2 ตัว มาติดตั้งเพื่อทำการเคลื่อนที่เครื่องมือตัดในแต่ละแกน เพื่อกระตุ้นให้เครื่องมือตัดมีการเคลื่อนไหวเป็นรูปวงรี การใช้กลไกการสั่นแบบนี้มีข้อดีคือ มีแรงในการสั่นสูง และ สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่นได้โดยไม่ต้องออกแบบโครงสร้างของด้ามจับเครื่องมือตัดใหม่ แต่ก็มีข้อเสียคือการติดตั้งที่มีความยุ่งยาก ล่าสุด ได้มีการเลือกใช้กลไกในการสั่นโดยการใช้แผ่นเซรามิคเพียโซอิเล็กทริก ติดตั้งเข้าตรงกลางของด้ามจับเครื่องมือตัดทรงกระบอกรูปแปดเหลี่ยม โดยป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ

ของด้ามจับเครื่องมือตัด เพื่อให้เกิดการสั่นที่ปลายของด้ามจับเครื่องมือตัดนั่นเอง กลไกในการสั่นดังกล่าว มีข้อดีคือ การใช้แผ่นเซรามิคเพียโซอิเล็กทริกในการกระตุ้นด้ามจับเครื่องมือตัดนั้น มีต้นทุนต่ำ รูปร่างของด้ามจับเครื่องมือตัดไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ เครื่องมือตัดสามารถสั่นได้ที่ความถี่ธรรมชาติโหมดต่างๆของด้ามจับเครื่องมือตัดเท่านั้น การออกแบบให้ความถี่พอเหมาะกับที่ต้องการเป็นไปได้ยากมาก และการติดตั้ง ต้องทำการยึดด้ามจับเครื่องมือตัดที่จุดบัพ (Nodal point) ที่ต้องคำนวณด้วยโปรแกรมประยุกต์ไฟไนต์เอลิเมนต์เท่านั้น มิฉะนั้นความแรงในการสั่นเครื่องมือตัดจะมีค่าน้อย ซึ่งผู้ออกแบบต้องเสียเวลาศึกษาการใช้โปรแกรมให้ได้ในระดับหนึ่ง ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้มีข้อเสียร่วมกันคือ การติดตั้งที่ยุ่งยาก และไม่มีมาตรฐานที่ใช้ร่วมกันเพื่อการติดตั้งสำหรับงานอุตสาหกรรม เหตุนี้เองด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นที่ได้เคยมีการออกแบบมาแล้วในงานวิจัยของต่างประเทศ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาติดตั้งเข้ากับเครื่องกลึงซีเอ็นซีแบบปกติ

3.2. แนวคิดของการออกแบบ

ออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัด เพื่อใช้สำหรับงานกลึงปาดหน้า ที่สามารถติดตั้งกับช่องติดตั้งบนป้อมเครื่องมือของเครื่องซีเอ็นซีขนาดมาตรฐานได้ มีชิ้นส่วนน้อย เพื่อลดต้นทุนของการผลิต สามารถติดตั้งได้โดยง่าย ไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษามาก และ มีการประยุกต์กลไกการสั่นเข้ากับด้ามจับเครื่องมือตัด

3.3. ขั้นตอนการออกแบบ

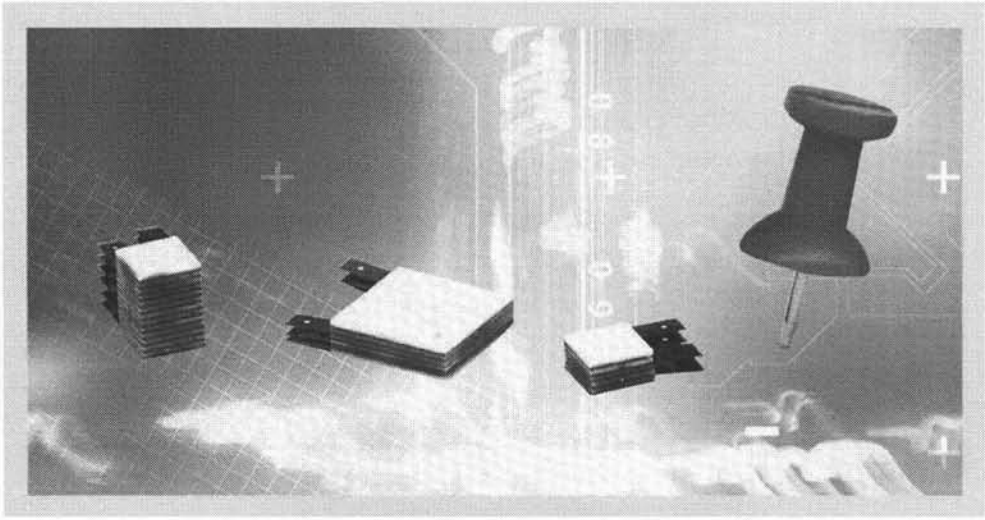
ลำดับขั้นตอนการออกแบบมีขั้นตอนคร่าวๆดังต่อไปนี้

1) ทำการเลือกกลไกการสั่น
2) ออกแบบรูปทรงของด้ามจับเครื่องมือตัด
3) เลือกวัสดุที่ใช้ทำด้ามจับเครื่องมือตัด
4) ทำการจำลองความถี่ธรรมชาติของด้ามจับเครื่องมือตัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ ALGOR™
5) ทำการจำลองค่าความเค้นของด้ามจับเครื่องมือตัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ ALGOR™
6) ทำด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นต้นแบบ
7) ทำการติดตั้งและทดสอบการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดที่ติดตั้งอยู่

3.4. การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการสั่น

ดังที่ได้ทราบมาแล้วว่า กลไกในการสั่นที่เคยได้ใช้ในงานวิจัยต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นวิธีการสั่นด้วย Bolt Langevin-type Transducer (BLT) ติดตั้งที่ปลายอีกด้านของด้ามจับเครื่องมือตัด หรือ ใช้ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) จำนวน 2 ตัว ติดตั้งเข้าตามแกนที่ต้องการให้สั่นและกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ หรือ การกระตุ้นตัวด้ามจับเครื่องมือตัดที่ความถี่ธรรมชาติด้วยแผ่นเซรามิคเพียโซอิเล็กทริก ด้ามจับเครื่องมือตัดทั้งหลายที่ใช้กลไกการสั่นข้างต้น ออกแบบมานั้น มีความยุ่งยากซับซ้อนในการติดตั้งบนป้อมเครื่องมือของเครื่องกลึงซีเอ็นซีทั่วไปได้ เนื่องจากด้ามจับมีขนาดใหญ่ การใช้งานในงานวิจัยดังกล่าวก็สามารถนำไปติดตั้งเข้ากับ โต๊ะป้อน (Feed table) ของเครื่องซีเอ็นซีได้เท่านั้น งานวิจัยนี้จึงต้องค้นหากลไกการสั่นแบบอื่นๆที่ทำให้ด้ามจับเครื่องมือตัดต้นแบบที่ออกแบบและผลิตขึ้นมีความเหมาะสมกับที่จะติดตั้งบนป้อมเครื่องมือของเครื่องกลึงซีเอ็นซีแบบทั่วๆไปได้

ในปัจจุบัน อุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกมีให้เลือกหลายรุ่นหลายแบบมากมาย การออกแบบจึงต้องมีโจทย์สำหรับการออกแบบว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในการสั่นนั้น ต้องมีขนาดเล็ก ต้องมีแรงในการสั่นพอสมควร และ สามารถสั่นได้ที่ความถี่สูง จากสินค้าที่มีในท้องตลาดนั้นได้พบว่ามีอุปกรณ์ที่น่าจะสามารถตอบสนองความต้องการในการออกแบบได้คือ ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก รุ่น “PICA™ Shear Piezo Actuator” ของบริษัท Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG



รูปที่ 3.1. ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก PICA™ Shear [12]

ข้อดีของ "PICA™ Shear Piezo Actuator" ที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่นอย่างเห็นได้ชัดคือ อุปกรณ์นี้เป็นตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกที่มีการเคลื่อนไหวหลายทิศทางในตัวเดียว (Multi-axis motion) อาจจะเคลื่อนไหวได้ 2 แกน หรือ 3 แกนก็ได้ ขึ้นอยู่กับรุ่นที่เลือก ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งและออกแบบได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังมีขนาดที่เล็ก กล่าวคือขนาดที่ใหญ่สุดในอนุกรมของผลิตภัณฑ์นี้มีขนาดเพียง 16 มิลลิเมตร คูณ 16 มิลลิเมตร คูณ 40 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง) เท่านั้น

อนึ่ง ผลิตภัณฑ์นี้เป็นอุปกรณ์ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งข้อดีของการเลือกใช้กลไกการสั่นโดยใช้การสั่นสะเทือนของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกนั้นคือ เป็นกลไกการสั่นโดยตรง กล่าวคือเมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าไปที่ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกมีค่าความถี่เท่าไร ด้ามจับเครื่องมือตัดซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว จะสั่นด้วยความแรงตามขนาดของแรงดัน และ มีความถี่เท่ากันกับสัญญาณที่ป้อน การติดตั้งด้ามจับเครื่องมือตัดก็ไม่จำเป็นต้องยึดเข้าที่จุดบัพ (Nodal point) และไม่จำเป็นต้องป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของด้ามจับเครื่องมือตัดด้วย

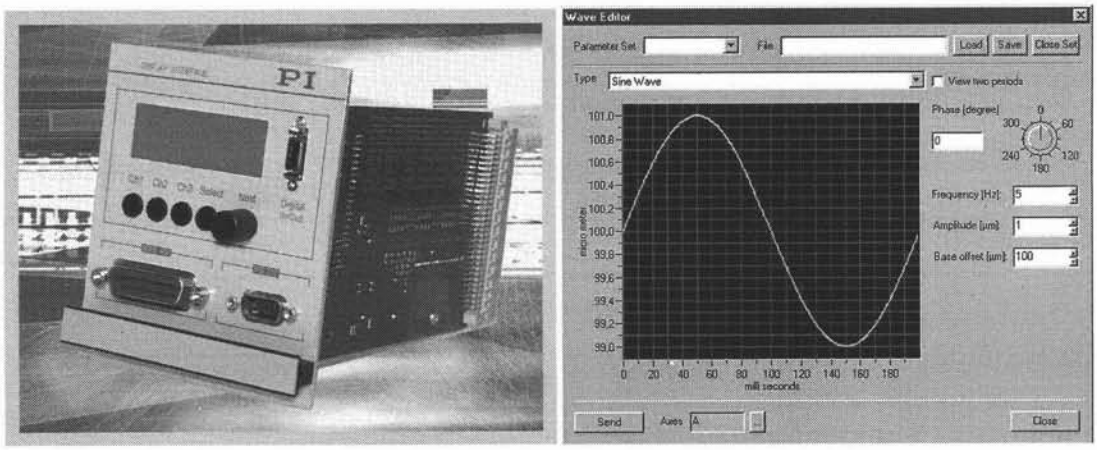
ในงานวิจัยนี้เลือกออกแบบการสั่นให้มีขนาดของแรงปฏิกิริยาจากการตัดไม่เกิน 100 นิวตัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ "PICA™ Shear Piezo Actuator" รุ่น P-153.05 ของบริษัท PI ซึ่งเป็นรุ่นที่เหมาะสมทั้งในด้านราคาและมีรายละเอียดที่เพียงพอต่อการใช้งาน กล่าวคือ มีระยะทางการเคลื่อนที่ 3 แกนในอุปกรณ์ตัวเดียว มีระยะการเคลื่อนที่วัดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุด 5 ไมโครเมตร 5 ไมโครเมตร และ 5 ไมโครเมตรตามแนวแกน XYZ ตามลำดับ อุปกรณ์ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกนี้มีขนาด 16 มิลลิเมตร 16 มิลลิเมตร และ 23 มิลลิเมตร ตามมิติ กว้าง ยาว และสูง ตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดที่ไม่ใหญ่มากนัก รองรับภาระเฉือน (Shear load)ได้ 100 นิวตัน ซึ่งพอเพียงกับการใช้งานในการตัดซึ่งความลึกตัดและความเร็วตัดไม่สูงมาก และมีความถี่สั่นพ้อง(Resonance frequency) สูงถึง 30 กิโลเฮิรตซ์

3.5. การเลือกส่วนควบคุมตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก

เมื่อเลือกอุปกรณ์ ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) ได้เหมาะสมตรงกับความต้องการแล้ว การบังคับให้อุปกรณ์นั้นเคลื่อนไหวได้ ต้องใช้สัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้า ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้กำเนิดสัญญาณ และ ขยายแรงดันและกระแสให้เพียงพอสำหรับความต้องการของตัวกระตุ้นนั้น อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ดังกล่าวก็คือ ส่วนควบคุม (Controller) และส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งต้องทำการเลือกให้เหมาะสมกับตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกที่เลือกไว้ด้วย

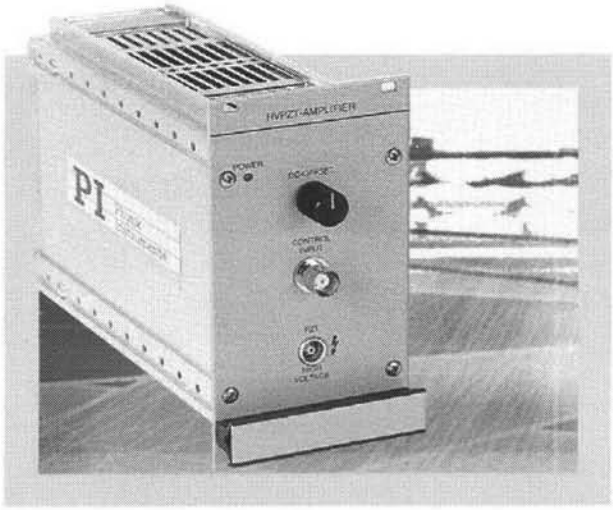
งานวิจัยนี้ต้องการสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับในการขับเคลื่อนตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกให้เคลื่อนไหวได้ 2 แกน และการเคลื่อนไหวของแต่ละแกนนั้นต้องสอดคล้องกันด้วย แหล่งกำเนิดสัญญาณจึงต้องสามารถกำเนิดสัญญาณความถี่แต่ละช่องที่เป็นอิสระต่อกันและสามารถปรับให้ความถี่ของสัญญาณในแต่ละช่องนั้นมีความเหลื่อมล้ำของเฟสตามความต้องการได้

จากความต้องการข้างต้น จะได้ส่วนควบคุม (Controller module) รุ่น E-516 ของบริษัท PI เนื่องจากมีความเข้ากันได้กับ ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก ที่เลือกเอาไว้ก่อนหน้านี้เป็นอย่างดี โดยส่วนควบคุมนั้นต้องใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการสั่งงานผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมกำหนดการเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก หรือ สั่งให้ส่วนควบคุมกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับพร้อมกัน 3 ช่อง โดยกำหนดให้สัญญาณในแต่ละช่องนั้นมีความต่างเฟสกันได้



รูปที่ 3.2. ส่วนควบคุม รุ่น E-516 และโปรแกรมสร้างความถี่ (Wave Editor) ที่ใช้ในการควบคุม [12]

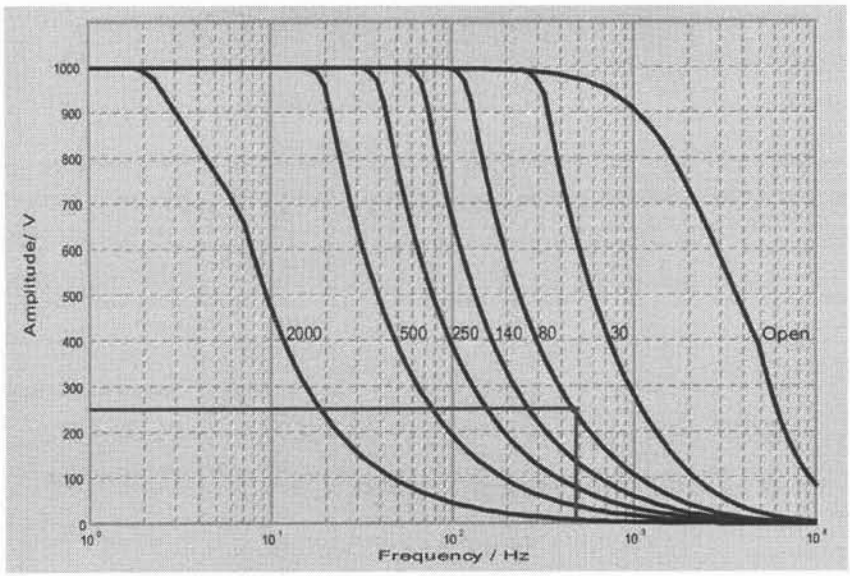
ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกนั้น ใช้แรงดันในการปฏิบัติการอยู่ในช่วง 250 โวลต์ ถึง -250 โวลต์ ดังนั้น จะต้องเลือกส่วนขยายสัญญาณที่สามารถขยายแรงดันที่ส่งมาจากส่วนควบคุมให้อยู่ในช่วงที่สามารถปฏิบัติการตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกได้ ซึ่งส่วนขยายสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับงานดังกล่าว คือรุ่น E-507.00 ของบริษัท PI แต่ส่วนขยายสัญญาณแต่ละตัวสามารถขยายสัญญาณได้เพียงหนึ่งช่อง ในงานวิจัยใช้สัญญาณในการกระตุ้น 2 ช่อง จึงต้องใช้ส่วนขยายสัญญาณเป็นจำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.3. ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier) รุ่น E-507.00 [12]

3.6. ความถี่ที่เหมาะสมในการป้อนตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก

สภาวะการทำงานของส่วนขยายสัญญาณถูกกำหนดโดย เส้นโค้งลักษณะการทำงาน (Operation Characteristic Curve, OC-Curve) ซึ่งเป็นเส้นโค้งระหว่างตัวแปรแรงดันและความถี่ รูปที่ 3.4 เป็นเส้นโค้งลักษณะการทำงานของ ส่วนขยายสัญญาณรุ่น E-507.00 ของ PI

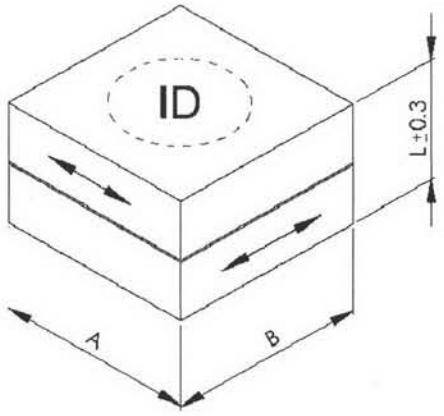


รูปที่ 3.4. เส้นโค้งลักษณะการทำงานของส่วนขยายสัญญาณรุ่น E-507.00 [12]

เมื่อทราบว่า ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกที่ได้เลือกใช้นั้นมีค่าความเก็บประจุ และใช้แรงดันปฏิบัติการเท่าใดจากคู่มือผลิตภัณฑ์ ก็สามารถหาความถี่สูงสุดที่ส่วนขยายสัญญาณที่ได้เลือกไว้แล้วนั้นสามารถขับตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกได้ จากเส้นโค้งลักษณะการทำงานข้างต้น โดยที่ค่าความเก็บประจุของ ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก รุ่น P-153.05 มีค่า 71, 71 และ 120 นาโนฟาหรัด ตามแกน X, Y และ Z ตามลำดับ และค่าแรงดันปฏิบัติการสูงสุด 250 โวลต์ แสดงให้เห็นด้วยเส้นที่ลากขนานแกนแนวตั้งและแนวนอน ดังรูปที่ 3.4 จะได้ความถี่สูงสุดที่ส่วนขยายสัญญาณสามารถขับได้ประมาณ 400 เฮิรตซ์

3.7. รูปทรงของด้ามจับเครื่องมือตัด

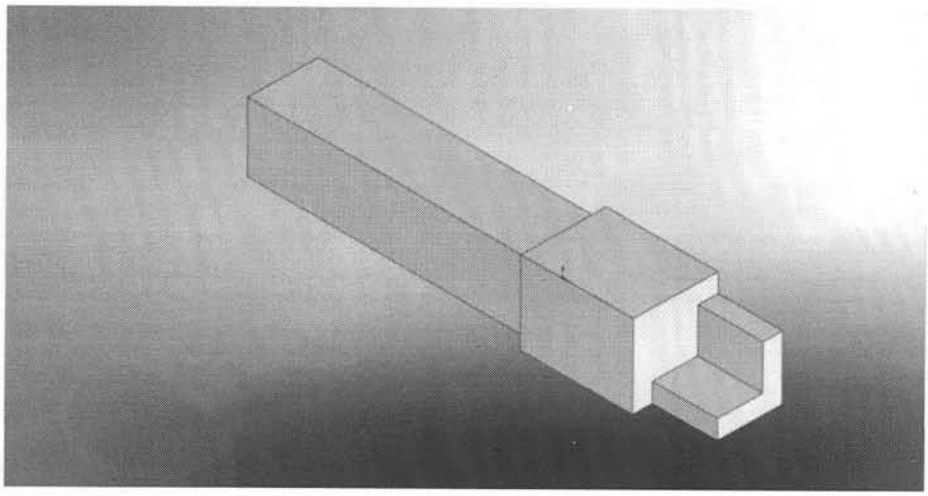
การเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกที่เลือกใช้นั้น มีลักษณะการเคลื่อนที่ขยายออกและหดตัวเข้าตามทิศทางดังรูปที่ 3.5 ดังนั้น การออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัดจะออกแบบให้มีสองส่วน คือ ส่วนท้าย ใช้สำหรับติดตั้งด้ามจับเครื่องมือตัดเข้ากับป้อมเครื่องมือของเครื่องกลึงซีเอ็นซี และ ใช้สำหรับติดตั้งตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก และ ส่วนหัว เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดการสั่นจากตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกไปสู่เครื่องมือตัดที่ติดตั้งอยู่ตำแหน่งปลายของส่วนหัวเพื่อใช้ในการตัดชิ้นงาน



รูปที่ 3.5. ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก PICA™ Shear [12]

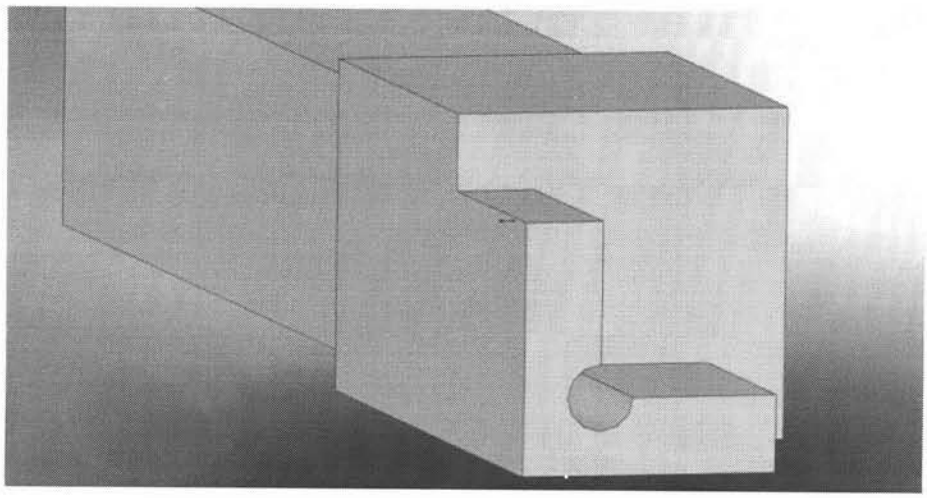
การออกแบบส่วนท้ายของด้ามจับเครื่องมือตัดนั้น จะออกแบบให้พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความกว้างคูณความยาว เท่ากับ 25 มิลลิเมตร คูณ 25 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดของด้ามจับเครื่องมือตัดมาตรฐานที่สามารถติดตั้งเข้ากับป้อมเครื่องมือของ

เครื่องกลึงซีเอ็นซีได้ และ ปลายอีกด้านหนึ่งจะทำเป็นรูปตัวแอล (L) ยื่นออกมา สำหรับติดตั้งตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก และ ใช้สำหรับติดตั้งส่วนหัวของด้ามจับเครื่องมือตัด ดังรูปที่ 3.6



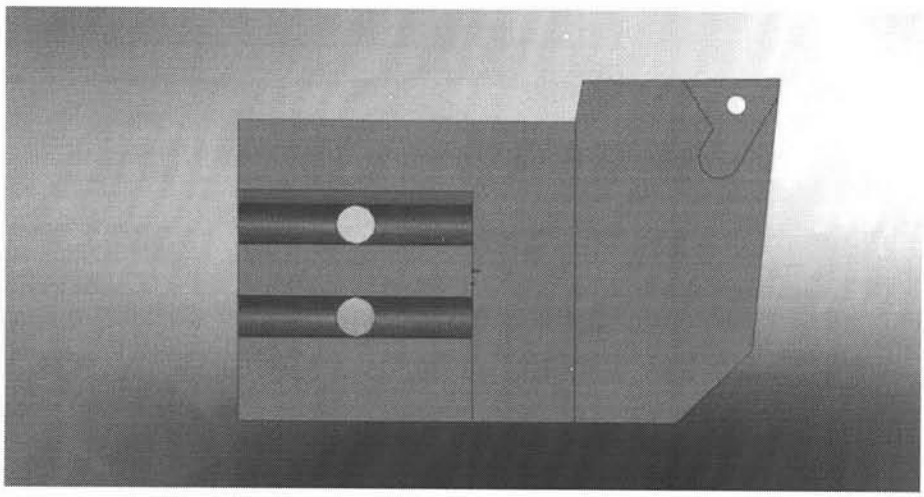
รูปที่ 3.6. ด้ามจับเครื่องมือตัด (ส่วนท้าย)

อนึ่ง การออกแบบด้านปลาย ณ ส่วนติดตั้งตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกของด้ามจับเครื่องมือตัดเป็นรูปตัวแอลนั้น การที่ด้านในของรูปตัวแอล (L) เป็นมุมฉากเพื่อที่จะสามารถติดตั้งตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกซึ่งมีรูปทรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้นั้น จะทำให้การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการกัดมีความยากลำบากมาก ดังนั้นจึงต้องมีการเจาะรูด้วยสว่าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ก่อนทำการกัด เพื่อเป็นการหลบให้มุมของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกซึ่งเป็นมุมฉาก สามารถติดตั้งเข้าไปได้ ดังรูปที่ 3.7. โดยที่ผิวของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกสามารถติดแนบสนิทกับส่วนติดตั้งของด้ามจับเครื่องมือตัด



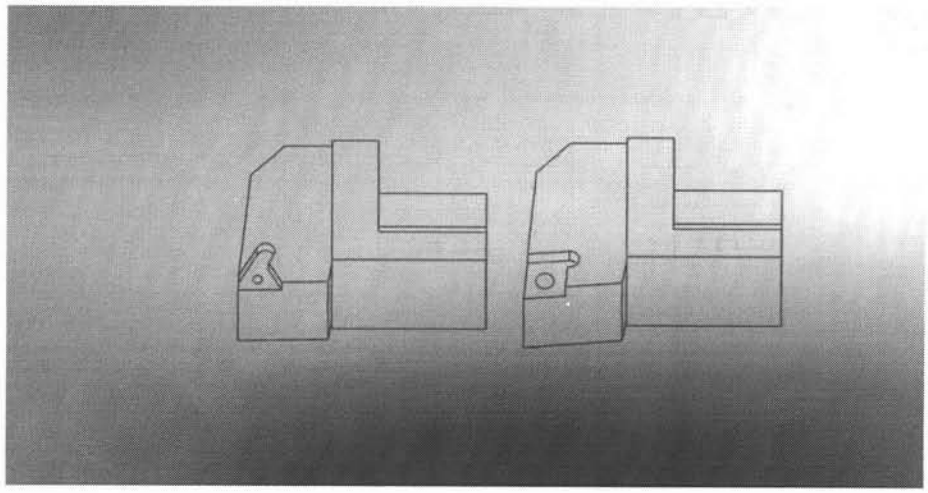
รูปที่ 3.7. ด้านปลายสำหรับติดตั้งตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกของด้ามจับเครื่องมือตัดส่วนท้าย

งานวิจัยนี้ จะทดลองโดยใช้วิธีการกลึงปาดหน้าชิ้นงาน การเลือกเครื่องมือตัดจึงต้องเหมาะสมกับการใช้งานกลึงปาดหน้า ดังนั้นจึงเลือกเครื่องมือตัด Kyocera รุ่น TPGB 110304T00815SE และในการออกแบบส่วนหัวของด้ามจับเครื่องมือตัดนั้น จะใช้ขนาดและมิติต่างๆ เช่นเดียวกันกับด้ามจับเครื่องมือตัด Kyocera รุ่น รุ่น STGCR2525M-11 ซึ่งด้ามจับเครื่องมือตัดดังกล่าว มีขนาดและมิติต่างๆเหมาะสมที่จะติดตั้งเครื่องมือตัด รุ่น TPGB 110304T00815SE ที่ได้ทำเลือกไว้ก่อนแล้ว



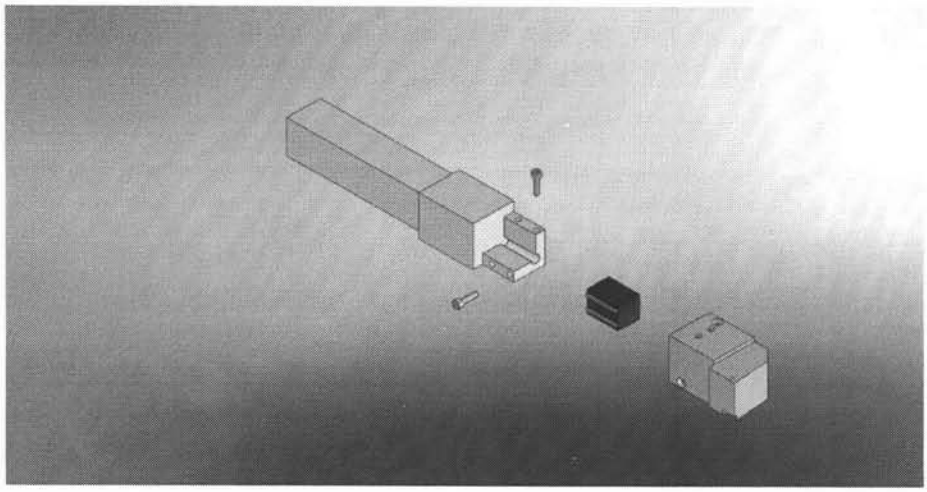
รูปที่ 3.8. ด้ามจับเครื่องมือตัด (ส่วนหัว)

ในการออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัดซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนนั้น ยังมีข้อดีอีกประการคือ เมื่อต้องการเปลี่ยนไปใช้เครื่องมือตัดแบบอื่น สามารถเปลี่ยนใช้เครื่องมือตัดชนิดอื่นได้ โดยเปลี่ยนเฉพาะส่วนหัวเท่านั้น ส่วนท้ายและตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกนั้น สามารถใช้ร่วมกันได้ ทำให้ด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบมานั้น มีความยืดหยุ่นในการใช้เครื่องมือตัดได้หลายประเภท

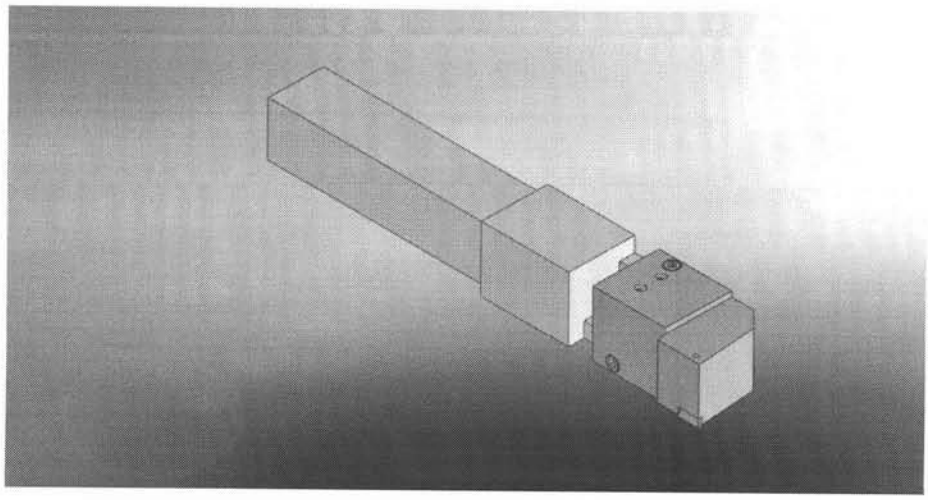


รูปที่ 3.9. ด้ามจับเครื่องมือตัด (ส่วนหัว) สำหรับติดตั้งเครื่องมือตัดแบบอื่นๆ

การประกอบเข้าระหว่างด้ามจับเครื่องมือตัดส่วนหัวเข้ากับด้ามจับเครื่องมือตัดส่วนท้ายนั้น จะใช้ตะปูควงขนาด M 3 ในการยึดติดทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10. การยึดด้ามจับเครื่องมือตัดสองส่วนเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.11. ด้ามจับเครื่องมือตัดเมื่อประกอบเสร็จ

3.8. การเลือกวัสดุที่ใช้ทำด้ามจับเครื่องมือตัด

วัสดุที่เลือกใช้ในการทำด้ามจับเครื่องมือตัดนั้นจะเป็นโลหะ เพื่อความสะดวกในการขึ้นรูปชิ้นงาน และมีความทนทานต่อการใช้งานเพราะคุณสมบัติของวัสดุประเภทโลหะนั้นสามารถรองรับแรงกดได้และมีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากในกระบวนการตัดนั้นมีแรงกระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดสูง นอกจากนี้แล้วสภาพแวดล้อมในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีนั้นมีความชื้นสูงอันเนื่องมาจากการใช้สารหล่อเย็น ดังนั้นการเลือกวัสดุในการทำด้ามจับเครื่องมือตัดจึงต้องเลือกวัสดุที่ทนทานต่อการเป็นสนิม เพื่อความง่ายในการบำรุงรักษาอีกด้วย

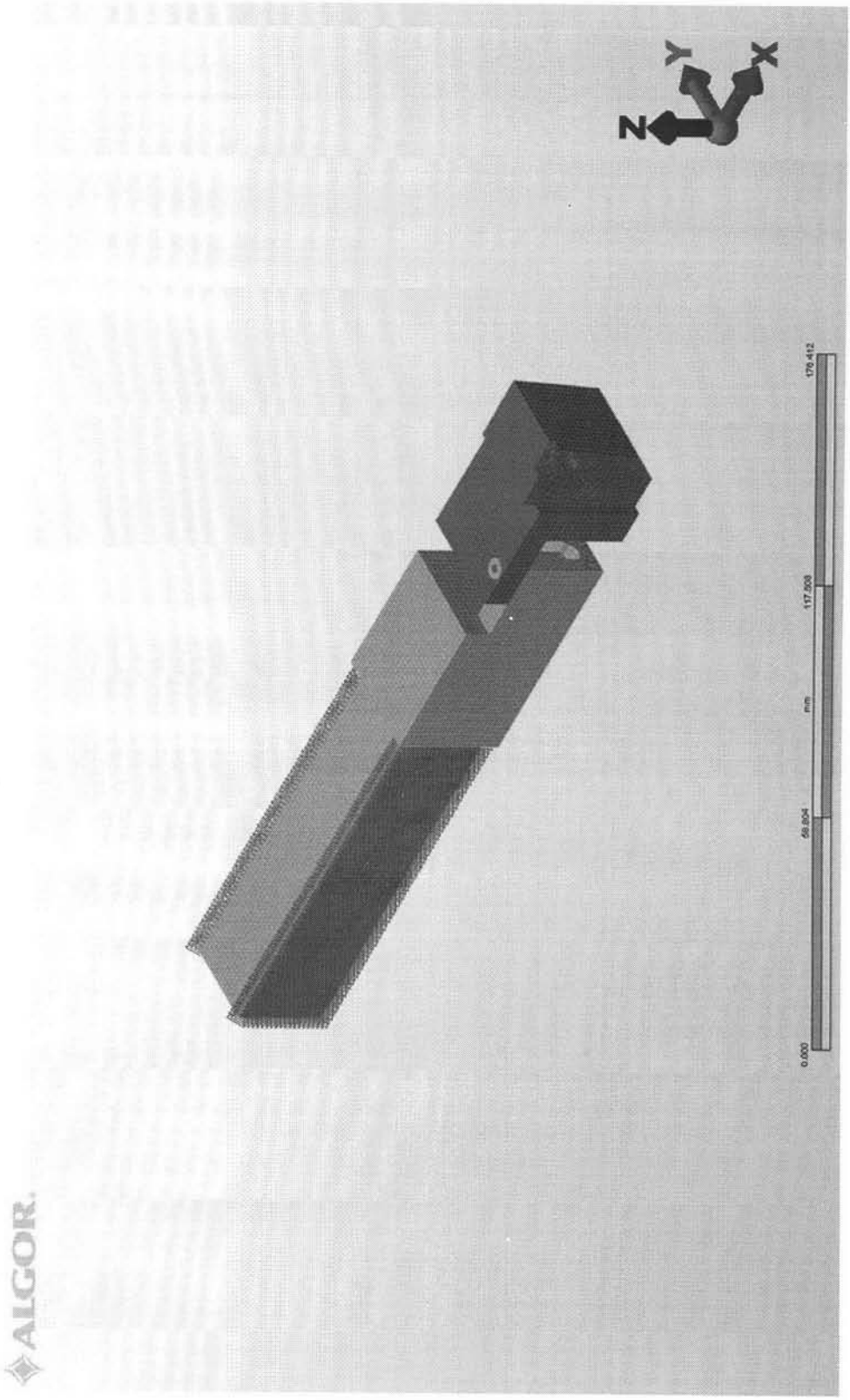
สำหรับในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วัสดุประเภทสเตนเลส (Stainless steel) ในการผลิตด้ามจับเครื่องมือตัดต้นแบบ เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก ไม่เป็นสนิม และสามารถขึ้นรูปได้โดยง่าย

3.9. ความถี่ธรรมชาติของด้ามจับเครื่องมือตัด

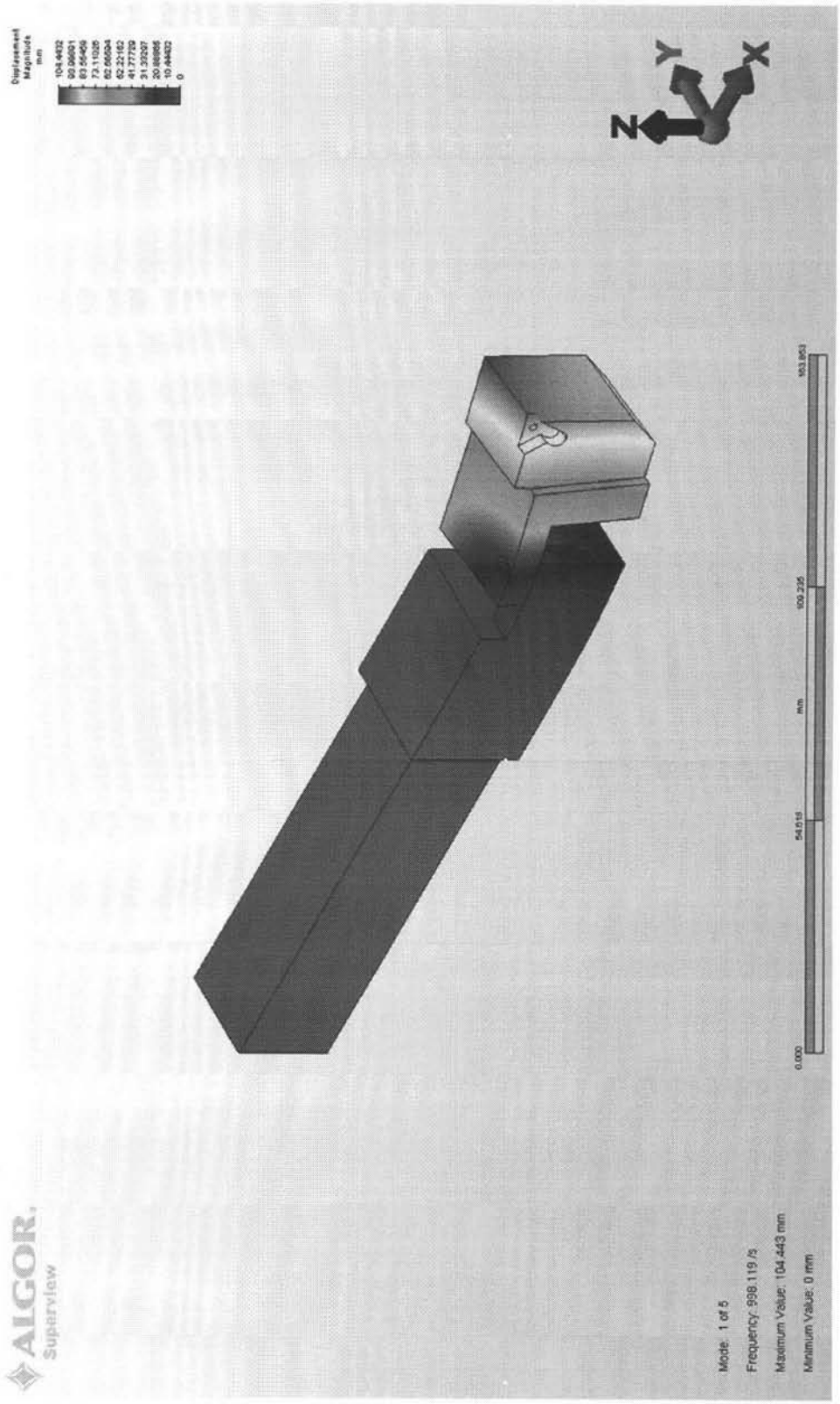
อุปกรณ์ต่างๆที่มีการสั่นสะเทือนนั้น ต้องคำนึงถึงความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์ที่ออกแบบนั้นด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงความถี่ที่เกิดจากการสั่นพ้อง (Resonance frequency) ซึ่งจะทำให้เกิดพลังงานสะสมในการสั่นมากจนเกินไป อาจทำให้อุปกรณ์ที่ออกแบบเสียหายลงได้ ในกรณีนี้ การออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัด มีความสั่นสะเทือนที่เกี่ยวข้องจาก 2 แหล่งคือ ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งมีค่าความถี่ 400 เฮิรตซ์ และ ความถี่ที่เกิดจากการปฏิบัติการปกติของเครื่องซีเอ็นซี ไม่ว่าจะเป็นความถี่ที่เกิดจากการที่เกิดจากปั๊มที่บรรจุลมเข้ามาเก็บไว้ในเครื่องซีเอ็นซีเพื่อรักษาระดับแรงดันลม หรือ ความถี่ที่เกิดจากการหมุนเพลาจับชิ้นงานขณะทำการตัดชิ้นงาน เป็นต้น

ความถี่ธรรมชาติของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นนั้น เพื่อความสะดวก สามารถคำนวณได้โดยการจำลอง (Simulation) ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปไฟไนต์เอลิเมนต์ทั่วไป สำหรับการออกแบบในงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรม ALGOR® จำลองโหมดต่างๆของด้ามจับเครื่องมือตัด โดยกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม คือ กำหนดค่าการตีตาข่าย (Mesh) เป็น 160 เปอร์เซ็นต์ ใช้วัสดุ Stainless steel (AISI 310) ในการจำลอง และทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Nodal boundary condition) ค่าเริ่มต้นในการจำลอง บนพื้นผิวของด้ามจับเครื่องมือตัดเป็น Fixed ดังรูปที่ 3.12

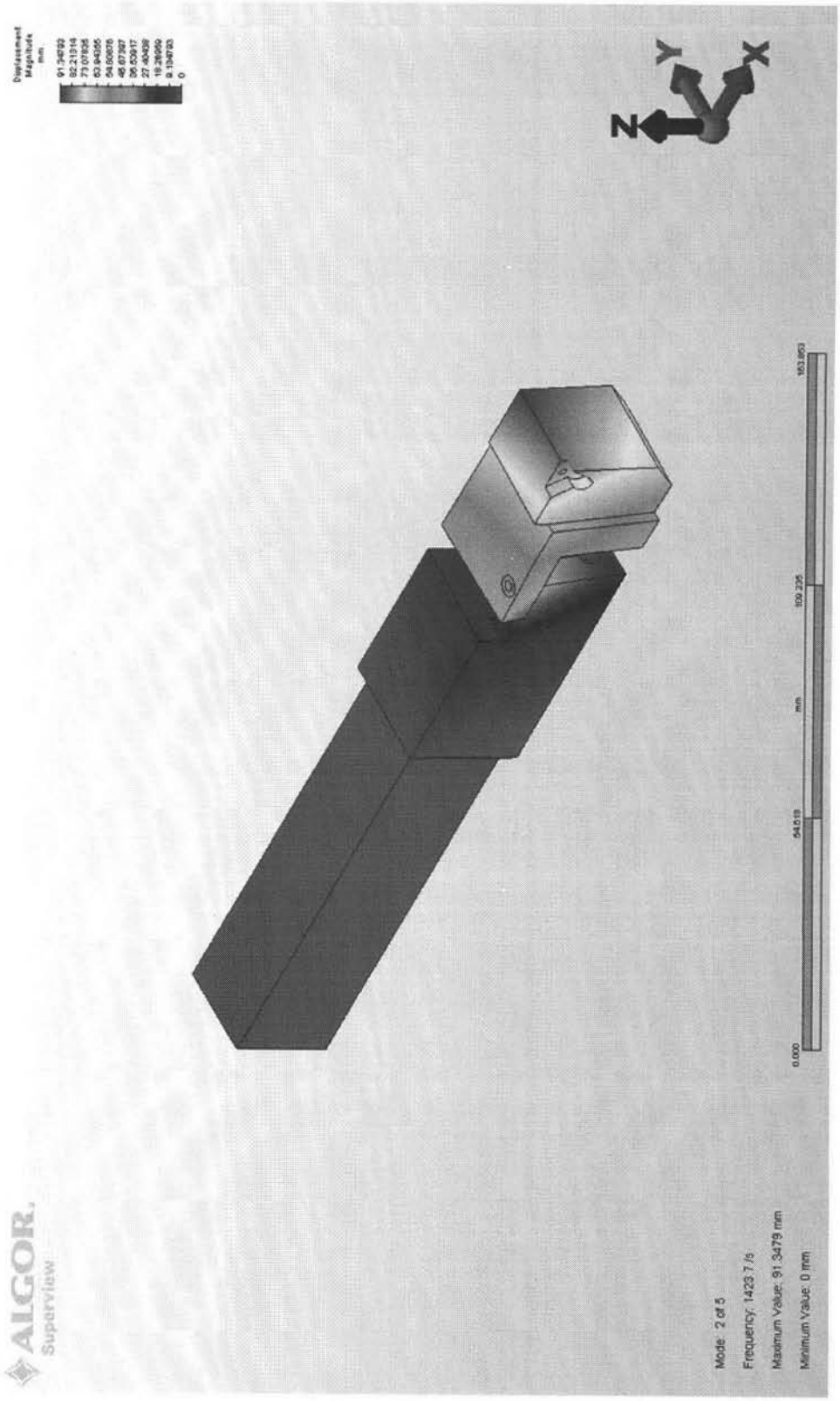
ผลการจำลอง 5 โหมดแรกของความถี่ธรรมชาติ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.13 ถึง รูปที่ 3.17 ซึ่งมีค่าความถี่ธรรมชาติ 998.119 เฮิรตซ์ ในโหมดที่ 1 ค่าความถี่ธรรมชาติ 1423.7 เฮิรตซ์ ในโหมดที่ 2 ค่าความถี่ธรรมชาติ 3641.74 เฮิรตซ์ ในโหมดที่ 3 ค่าความถี่ธรรมชาติ 4849.34 เฮิรตซ์ ในโหมดที่ 4 และ ค่าความถี่ธรรมชาติ 5842.53 เฮิรตซ์ ในโหมดที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในบรรดาค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดต่างๆ ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นนั้น มีค่าประมาณ 1000 เฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความถี่ที่ใช้สั่นตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งใช้เพียง 400 เฮิรตซ์เท่านั้น ดังนั้น โครงสร้างด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นที่ออกแบบนั้น จึงสามารถนำมาใช้ได้



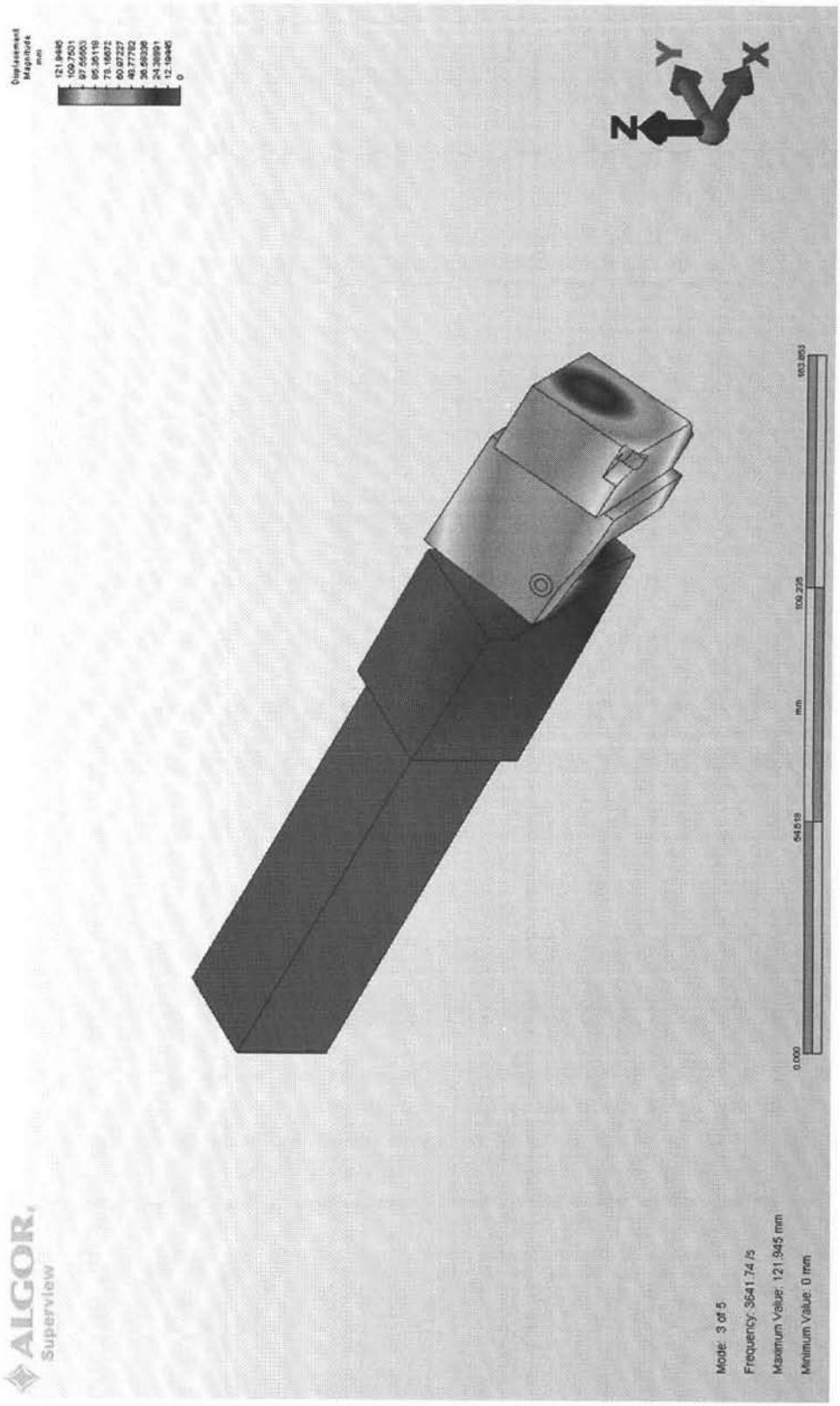
รูปที่ 3.12. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเป็นค่าเริ่มต้นในการจำลอง



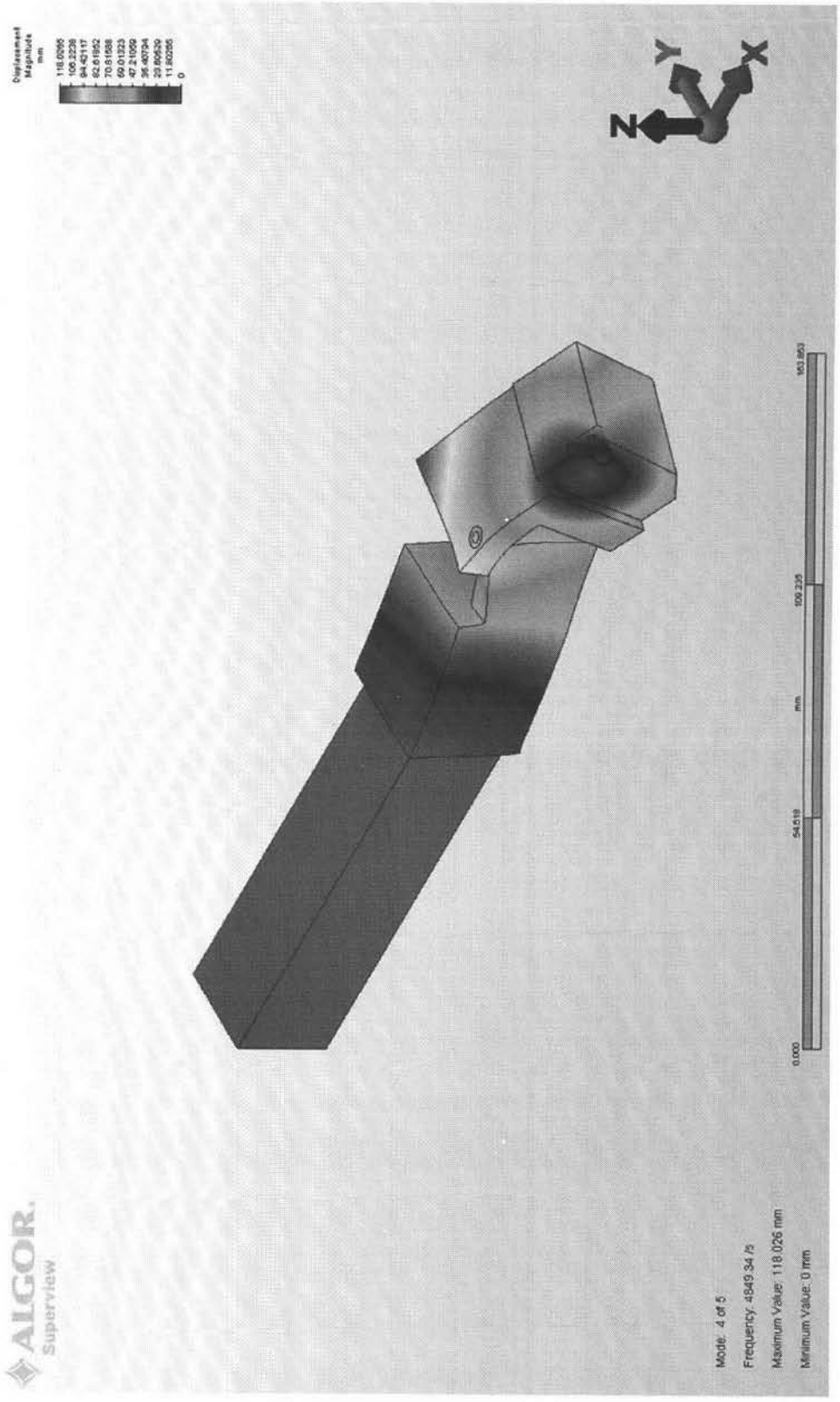
รูปที่ 3.13. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่น



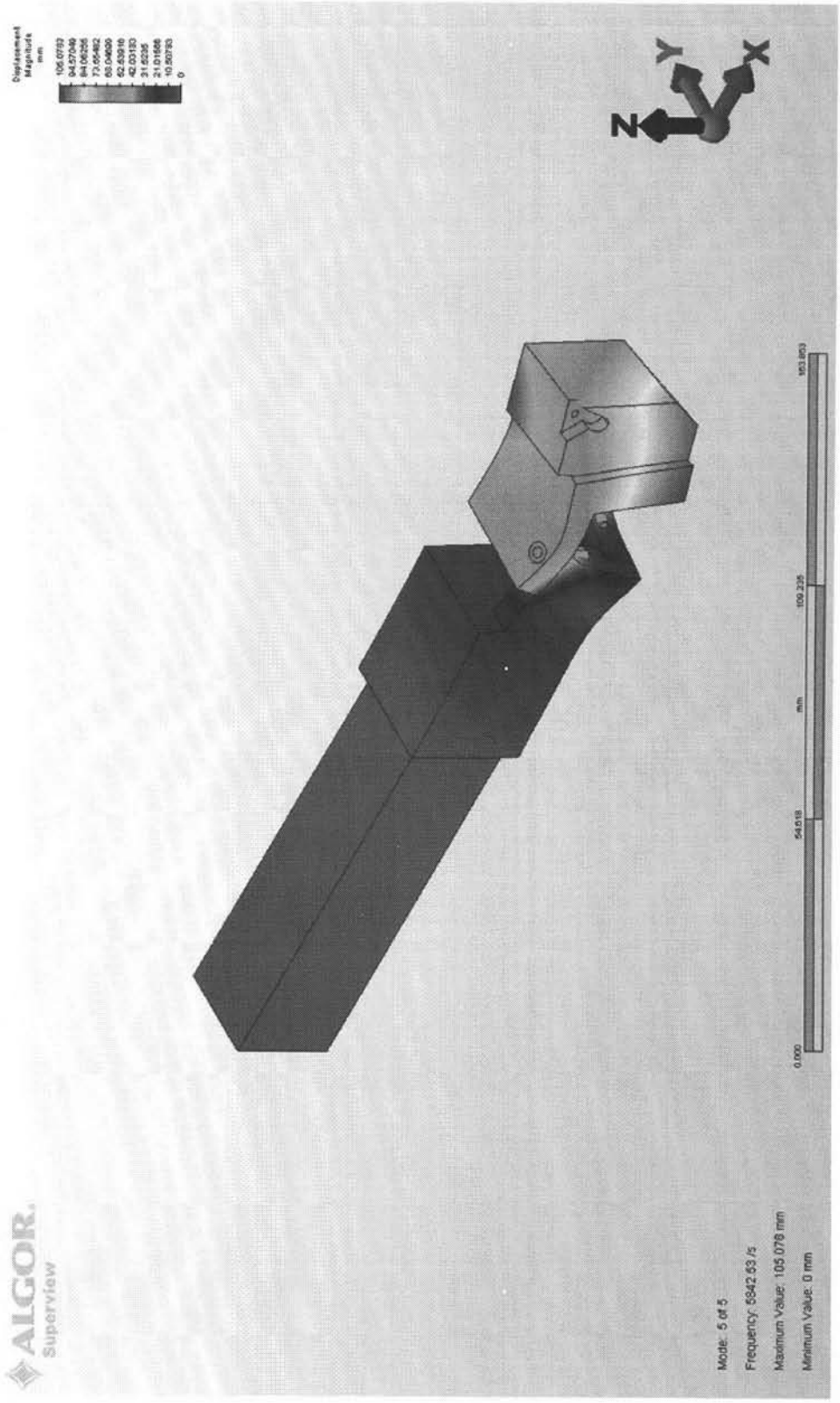
รูปที่ 3.14. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 2 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่น



รูปที่ 3.15. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 3 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่น



รูปที่ 3.16. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 4 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่น



รูปที่ 3.17. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 5 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่น

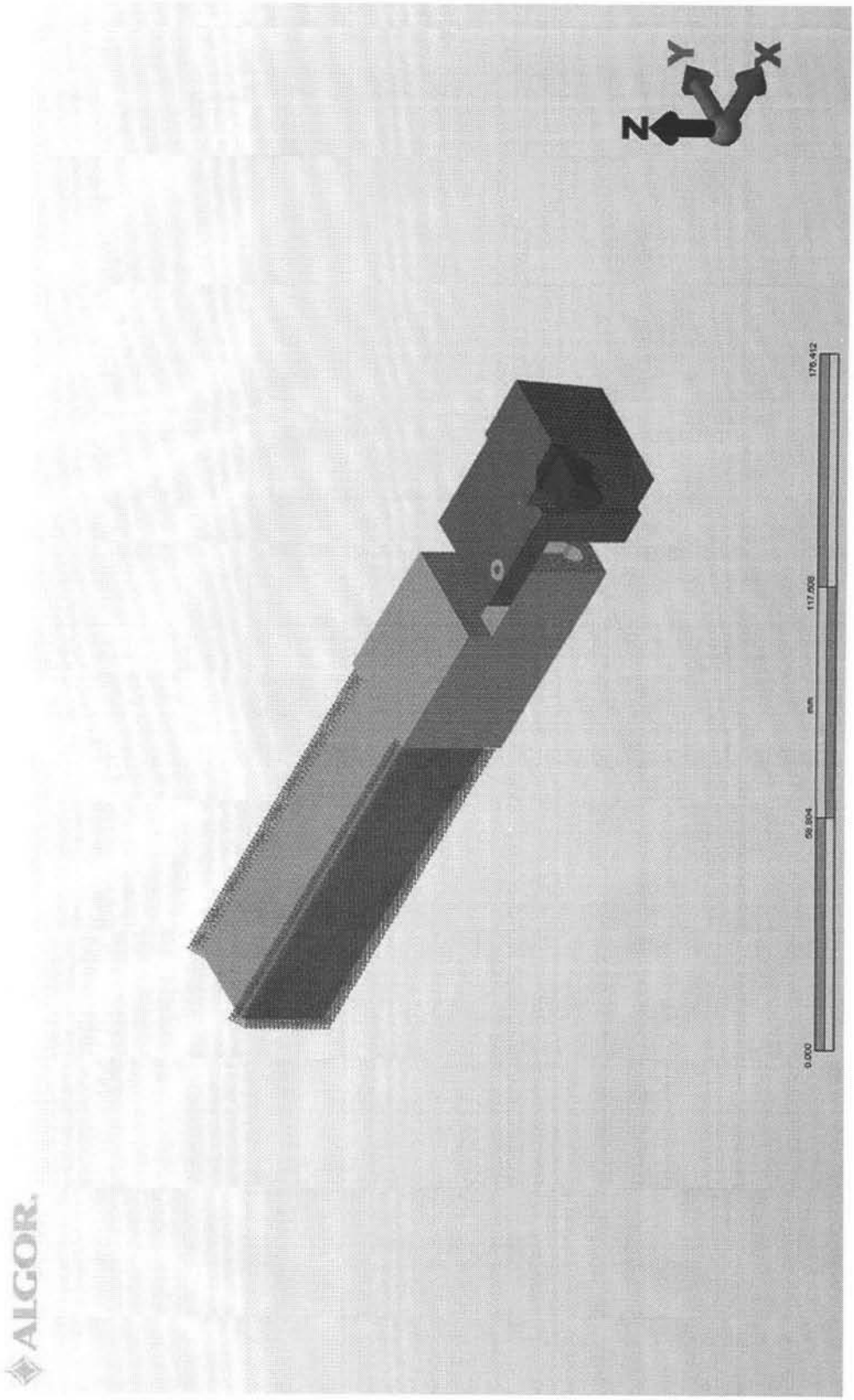
3.10. ความเค้นของด้ามจับเครื่องมือตัด

ขณะที่เครื่องซีเอ็นซีปฏิบัติการกลึง จะมีแรงซึ่งกระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดอยู่ 3 แรง คือ แรงป้อน (Feed force) แรงผลัก (Thrust force) และแรงตัดหลัก (Cutting force) ซึ่งการออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัดนั้น ต้องคำนึงถึงแรงที่มากระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัด เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายจากค่าความเค้น (Stress) ที่มากจนเกินไปซึ่งอาจเกิดขึ้นกับด้ามจับเครื่องมือตัดได้

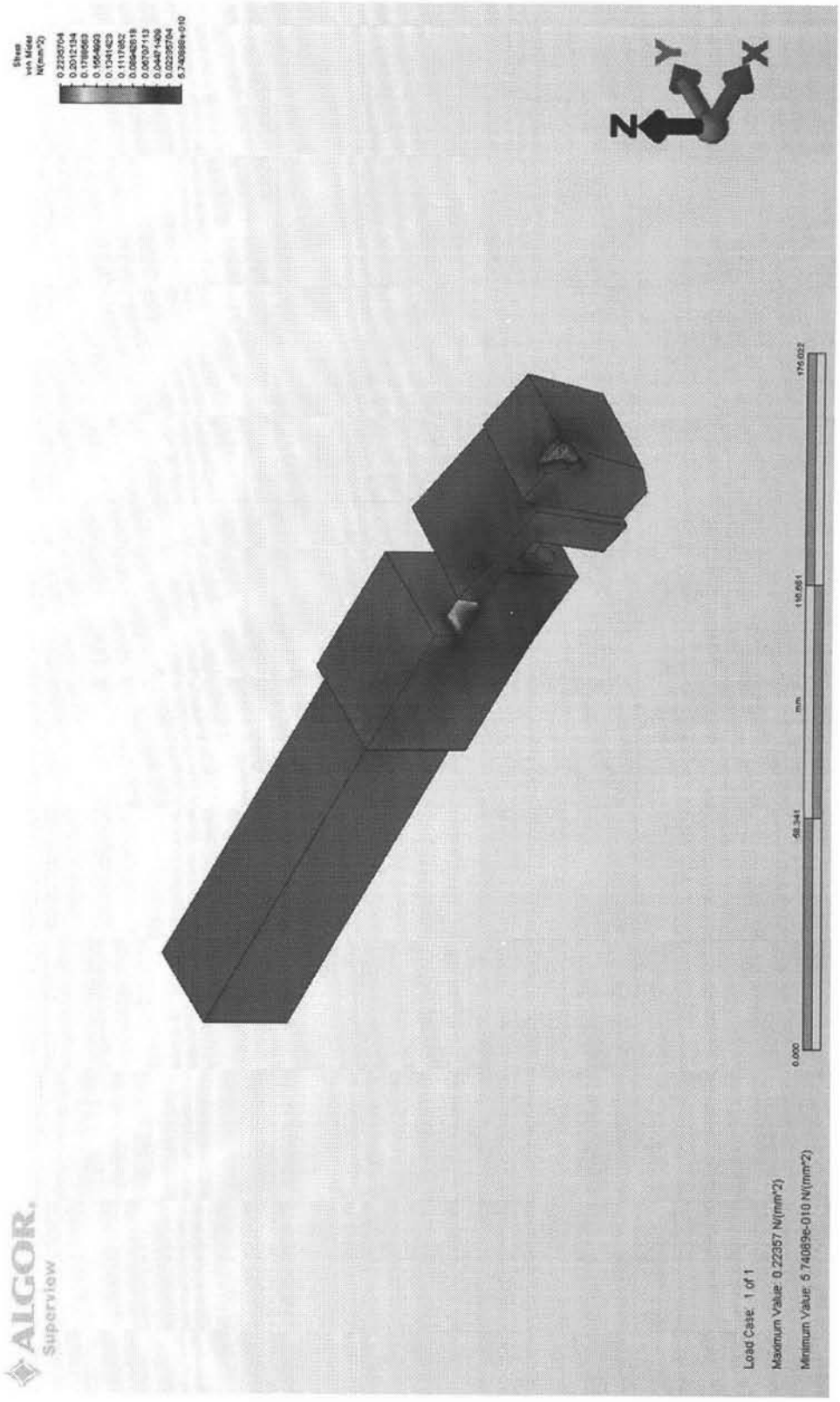
การพิจารณาความเค้น (Stress) ของด้ามจับเครื่องมือตัดนั้น จะต้องทราบว่าแรงที่กระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดนั้นมีค่าเท่าไร และนำค่าแรงที่กระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดมาคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนด้ามจับเครื่องมือตัด โดยจำลองด้วยโปรแกรมประยุกต์ไฟไนต์-เอลิเมนต์ ในที่นี้จะทำการวัดแรงที่กระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดด้วยไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ของ Kistler รุ่น 9720 โดยใช้เครื่องมือตัดคือ เม็ดมีด CBN ของ KYOCERA รุ่น TPGB110304T00815SE และด้ามจับเครื่องมือตัดของ KYOCERA รุ่น STGCR2525M-11 วัดแรงจากการกลึงปาดหน้าที่เงื่อนไข ความลึกตัด 10 ไมโครเมตร และอัตราป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบทุกการทดลอง โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบตัดเป็น 2 4 และ 10 รอบต่อนาที ซึ่งเงื่อนไขทั้งหมดนี้เป็นเงื่อนไขที่จะนำไปใช้ทำการวัดแรงที่กระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัด และมีการทำซ้ำ 2 การทดลอง ซึ่งพิจารณาเฉพาะแรงกระทำต่างๆ โดยใช้ค่าแรงกระทำสูงสุดที่กระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดที่วัดได้ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1. แรงกระทำสูงสุดต่างๆที่กระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดที่เงื่อนไขต่างๆ

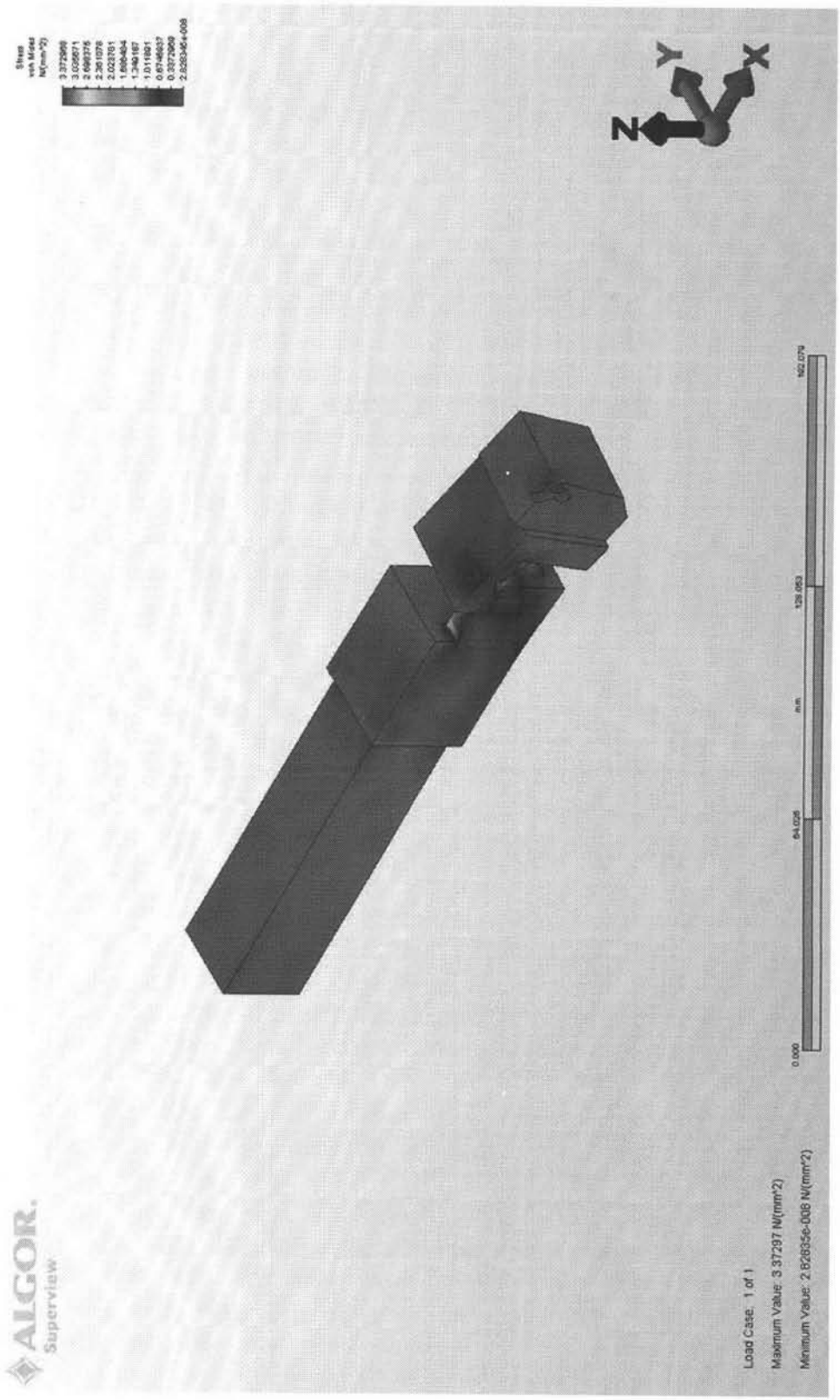
	แรงป้อน (นิวตัน)	แรงผลัก (นิวตัน)	แรงตัดหลัก (นิวตัน)
ความเร็วรอบตัด 2 รอบต่อนาที	1.32	1.82	3.51
	1.17	1.12	2.68
ความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที	1.82	2.75	5.12
	1.21	2.71	4.66
ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที	1.74	8.3	6.48
	1.34	9.53	8.02



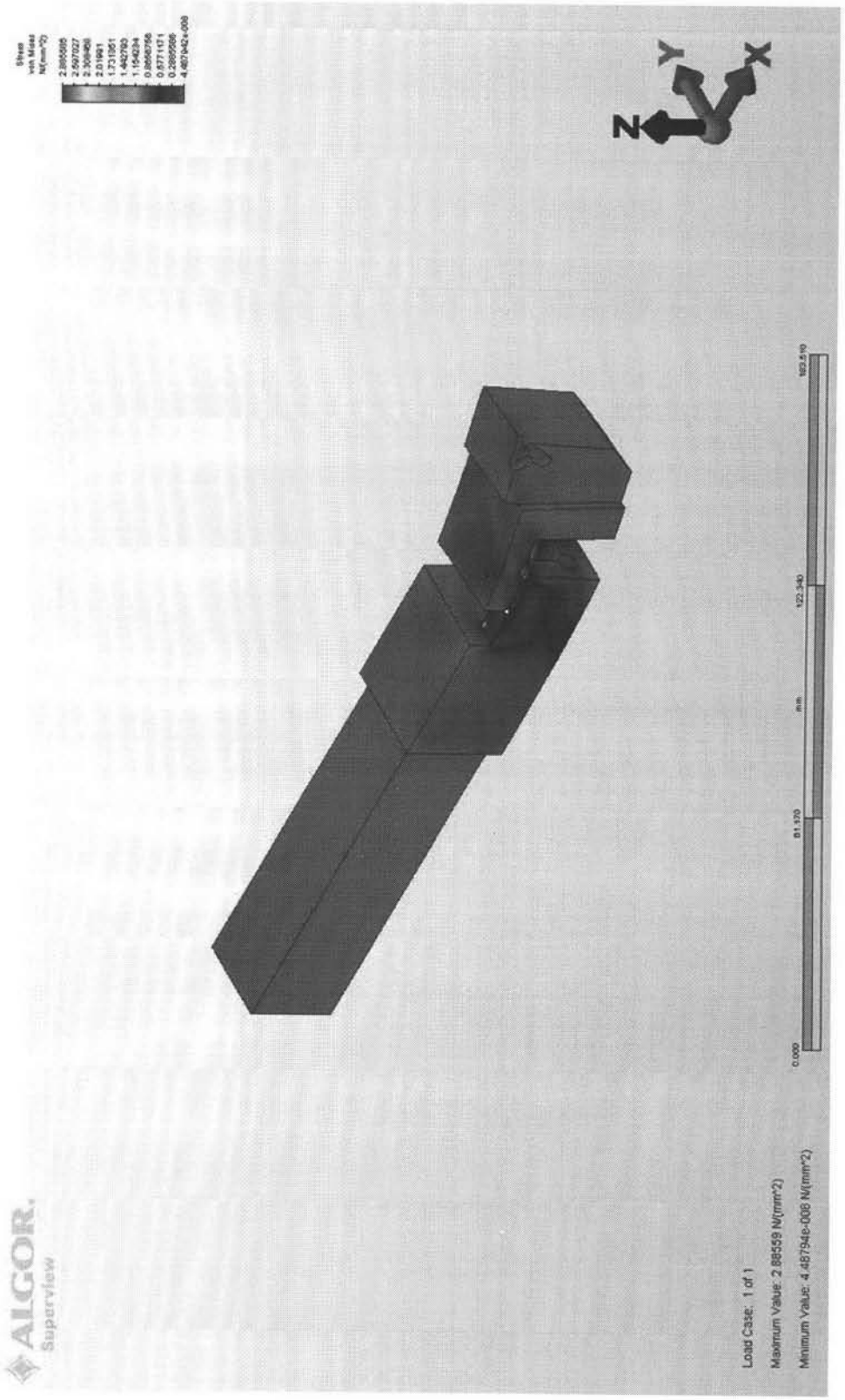
รูปที่ 3.18. ตำแหน่งที่กำหนดให้แรงกระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัด



รูปที่ 3.19. ความเค้นสูงสุดซึ่งถูกกระทำโดยแรงป้อนที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 3.20. ความเค้นสูงสุดซึ่งถูกกระทำโดยแรงผลักที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 3.21. ความเค้นสูงสุดซึ่งถูกกระทำโดยแรงตัดหลักที่ได้จากการจำลอง

จากตารางที่ 3.1 พบว่า ค่าสูงที่สุดของแรงป้อนสูงสุด (Feed force) มีค่า 1.82 นิวตัน ที่ความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที ค่าที่สูงที่สุดของแรงผลักสูงสุด (Thrust force) มีค่า 9.53 นิวตัน ที่ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที และค่าที่สูงที่สุดของแรงตัด (Cutting force) มีค่า 8.02 นิวตัน ที่ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที ซึ่งจะนำค่าต่างๆเหล่านี้แทนค่าลงในโปรแกรม ALGOR® เพื่อจำลอง (Simulation) ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนด้ามจับเครื่องมือตัด โดยกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม คือ กำหนดค่าการตีตาข่าย (Mesh) เป็น 160 เปอร์เซ็นต์ ใช้วัสดุ Stainless steel (AISI 310) ในการจำลอง ทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Nodal boundary condition) ค่าเริ่มต้นในการจำลอง บนพื้นผิวของด้ามจับเครื่องมือตัด เป็น Fixed ดังรูปที่ 3.12 และกำหนดตำแหน่งของแรงซึ่งกระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัดที่ตำแหน่งตามรูปลูกศรดังรูปที่ 3.18

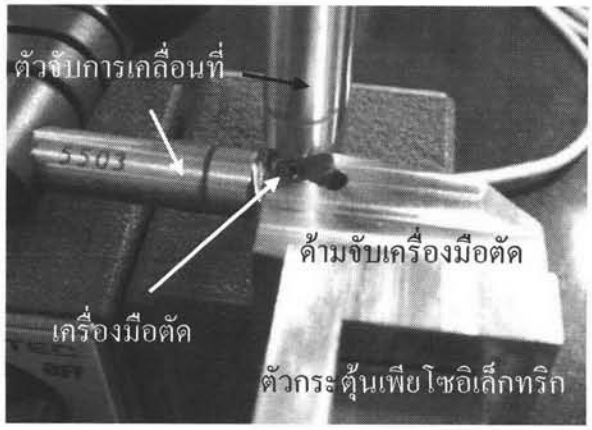
ผลการจำลองค่าความเค้นเมื่อมีแรงต่างๆมากระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัด แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.19 ถึงรูปที่ 3.21 ซึ่งค่าความเค้นสูงสุดที่ถูกกระทำจากแรงป้อนมีค่า 0.22 เมกะพาสคาล ค่าความเค้นสูงสุดที่ถูกกระทำจากแรงผลักมีค่า 3.37 เมกกะพาสคาล และค่าความเค้นสูงสุดที่ถูกกระทำจากแรงตัดมีค่า 2.89 เมกะพาสคาล เมื่อเทียบกับค่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ของวัสดุประเภทสเตนเลส (Stainless steel AISI 310) ซึ่งมีค่าประมาณ 199.95 จิกะพาสคาล และค่า โมดูลัสเฉือนของความยืดหยุ่น (Shear modulus of elasticity) ซึ่งมีค่าประมาณ 77.221 จิกะพาสคาล จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นจากแรงต่างๆที่เกิดขึ้นบนด้ามจับเครื่องมือตัดมีค่าน้อย ยังไม่สามารถทำให้วัสดุประเภทสเตนเลสเสียรูปทรงได้ ดังนั้นที่ความเร็วรอบตัดที่ใช้ในการทดลองจะไม่ทำให้เกิดความเค้นจนทำให้ด้ามจับเครื่องมือตัดเสียหายจากการใช้งาน

3.11. การทดสอบความสามารถในการสั่น

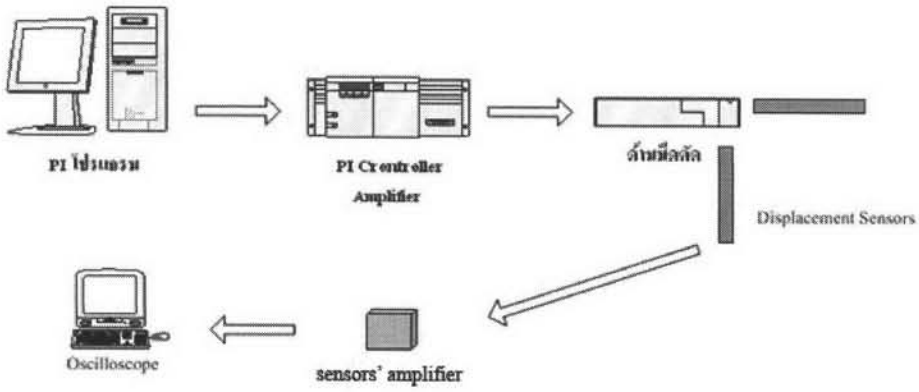
ในการทดสอบความสามารถในการสั่นนั้น จะใช้อุปกรณ์ในการทดสอบคือ ตัวจับการเคลื่อนที่ (Displacement sensor) ของ ADE Technologies รุ่น 5810 ซึ่งมีหลักการทำงานคร่าวๆ คือ เมื่อวางตัวจับการเคลื่อนที่ขนานกับวัตถุที่ต้องการจับการเคลื่อนที่ในระยะห่างที่ตัวจับการเคลื่อนที่สามารถทำงานได้เหมาะสม และ วัตถุที่ต้องการจับการเคลื่อนที่หยุดนิ่งอยู่นั้น แรงดันไฟฟ้าขาออกจะมีค่าๆหนึ่ง ที่ค่าแรงดันดังกล่าว จะกำหนดให้เป็นตำแหน่งอ้างอิง (Reference position) และเมื่อวัตถุที่ต้องการจับการเคลื่อนที่เคลื่อนที่โดยมีทิศทางเข้าใกล้ตัวจับการเคลื่อนที่ ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกจากตัวจับการเคลื่อนที่นั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งอ้างอิง ในทางกลับกัน ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกจากตัวจับการเคลื่อนที่จะมีค่าลดลงเป็นลบ เมื่อวัตถุที่ต้องการจับการเคลื่อนที่เคลื่อนที่โดยมีทิศทางห่างออกจากตัวจับการเคลื่อนที่ ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ออกจากตัวจับการ

เคลื่อนที่นั้นจะถูกบันทึกโดยออสซิลโลสโคป และเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวมาคูณกับค่าคงที่ของตัวจับการเคลื่อนที่ที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ก็จะได้ค่าการเคลื่อนที่ที่แท้จริงของวัตถุมีหน่วยเป็นเมตร

เมื่อได้ออกแบบและผลิตด้ามจับเครื่องมือตัดต้นแบบแล้ว ก่อนที่จะนำไปติดตั้งและใช้ในการทดลอง ต้องมีการทดสอบความสามารถในการสั่นของด้ามจับเครื่องมือตัดว่าสามารถทำงานได้ตามความประสงค์ที่ตั้งเอาไว้ก่อนการออกแบบหรือไม่อย่างไร โดยวิธีการทดสอบนั้น จะนำตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ จำนวน 2 ตัว ทำการวางตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ให้ปลายของอุปกรณ์วางขนานตามแนวแกนที่ต้องการจับการเคลื่อนไหวนั้นๆ มาใช้เพื่อตรวจจับการเคลื่อนที่ของส่วนหัวของด้ามจับเครื่องมือตัดต้นแบบ ดังรูปที่ 3.22

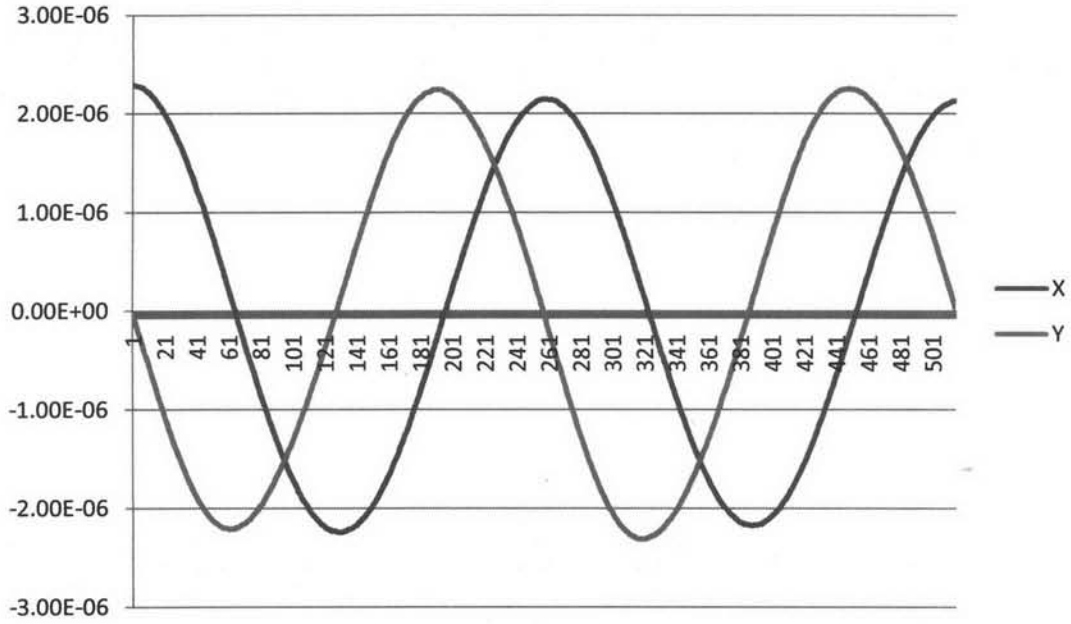


รูปที่ 3.22. การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด



รูปที่ 3.23. แผนภาพขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของด้ามจับเครื่องมือตัด

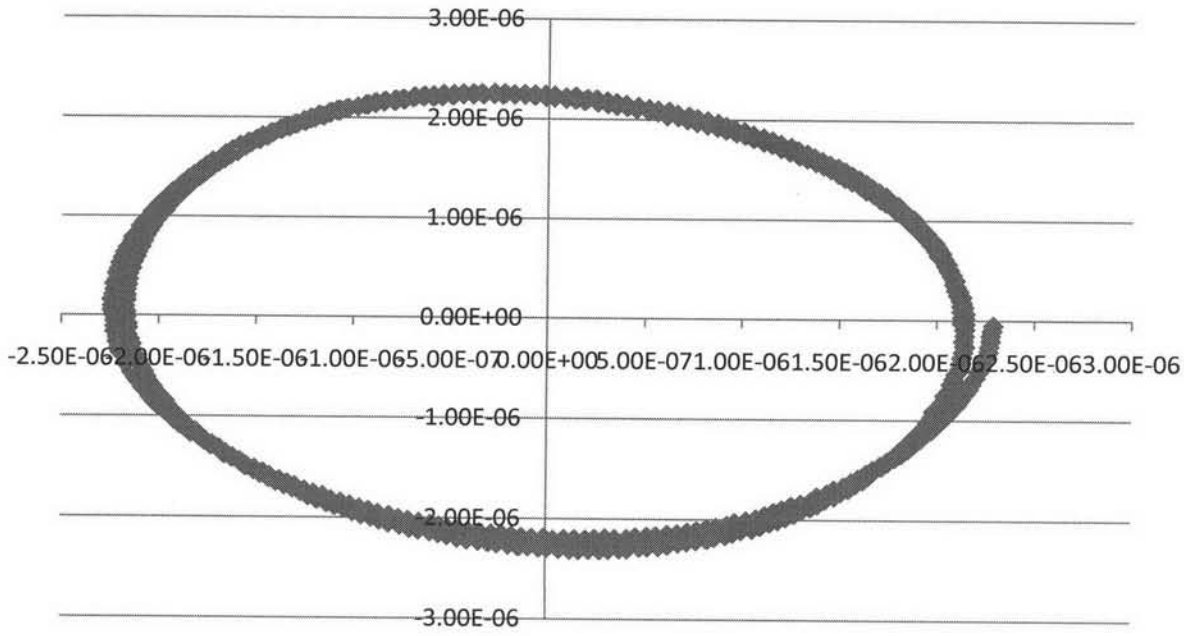
รูปที่ 3.23 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของด้ามจับเครื่องมือตัดส่วนหัวซึ่งติดตั้งเครื่องมือตัด โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งได้ติดตั้งโปรแกรมควบคุมตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก ของ PI จะทำหน้าที่สร้างรหัสควบคุมส่งไปยัง ส่วนควบคุม (Controller module) ผ่านทางพอร์ทเชื่อมต่อ RS-232 เพื่อให้ส่วนควบคุมกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ ส่งไปขยายสัญญาณที่ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier) เพื่อให้มีแรงดันพอที่จะใช้ขับตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ การสั่นสะเทือนจะไปกระตุ้นให้ด้ามจับเครื่องมือตัดส่วนหัวซึ่งติดตั้งเครื่องมือตัดอยู่นั้นเคลื่อนที่ และ ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่จะส่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดจากการวัดระยะการเคลื่อนที่มาที่ตัวขยายสัญญาณเพื่อขยาย และส่งสัญญาณไปยัง ออสซิลโลสโคปเพื่อบันทึกข้อมูลการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในช่วงคาบเวลาที่พิจารณา



รูปที่ 3.24. การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดที่วัดได้จากตัวจับการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของเครื่องมือจับที่วัดได้จากตัวจับการเคลื่อนที่ แสดงให้เห็นตามรูปที่ 3.24 โดยที่เส้นแสดงข้อมูล X แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในแนวเดียวกันกับทิศทางการตัด ซึ่งแทนด้วยสมการ $x = a\cos(\omega t)$ และเส้นแสดงข้อมูล Y แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในแนวเดียวกันกับทิศทางการไหลออกของเศษวัสดุ ซึ่งแทนด้วยสมการ $y = b\cos(\omega t + \phi)$ แกนแนวตั้งของกราฟมีหน่วยเป็นเมตร และแกนแนวนอนของกราฟเป็นแกนเวลา มีหน่วยเป็น มิลลิวินาที

ข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดทั้งสองแกนที่บันทึกไว้นั้น เมื่อนำมาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ โดยให้แกนนอนแสดงถึงระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในแนวเดียวกันกับทิศทางการไหลออกของเศษวัสดุ (Y) มีหน่วยเป็นเมตร และแกนตั้งแสดงถึงระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในแนวเดียวกันกับทิศทางการตัด (X) มีหน่วยเป็นเมตร จะได้ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25. พล็อตการเคลื่อนที่ของปลายเครื่องมือตัดทั้ง 2 แกนในเวลาเดียวกัน