ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัด 3 ทิศทาง

Three component strain gage based dynamometer

นฤทธิ์ คชฤทธิ์[1]

บทคัดย่อ:

โครงงานนี้ อธิบายถึงการออกแบบและสร้างไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัดใน 3 ทิศทางสำหรับงานกัด โดยมีส่วนประกอบใช้วัดแรงเป็นแบบวงแหวนแปดเหลี่ยม ใช้สเตรนเกจแบบค่าความต้านทานแผ่นโลหะบาง ติดบนส่วนของวงแหวนที่จัดวางในทิศทางที่ให้ค่าสัญญาณสอดคล้องกับทิศทางของแรงที่มากระทำ สัญญาณที่วัดได้จะถูกขยายและแปลงจากอนาลอกเป็นดิจิตอล และประมวลผลโดยชุดจัดเก็บข้อมูล PCD-300A (Kyowa) นำเสนอข้อมูลเป็นกราฟแบบทันทีทันใด ไดนาโมมิเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถรับแรงได้สูงสุด 3 กิโลนิวตัน ผลจากการทดลองพบว่าสัญญาณสเตรนที่วัดได้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงเป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ไดนาโมมิเตอร์, สเตรนเกจ

1. บทนำ

ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อใช้วัด กำลัง แรง ทอร์ค ของสิ่งที่ต้องการวัด ยกตัวอย่างเช่น โหลดเซลทรานสดิวเซอร์ (Load cell transducer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำหนักของโหลดให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้ามาประยุกต์ร่วมกัน ถือว่าเป็นไดนาโมมิเตอร์อีกแบบหนึ่ง การออกแบบไดนาโมมิเตอร์สามารถออกแบบได้หลายแบบ แต่ที่นิยมในปัจจุบันคือแบบใช้สเตรนเกจแบบความต้านทาน (Strain gauge) กล่าวคือเมื่อมีน้ำหนักมากระทำต่อโหลดเซล จะทำให้เกิดการยืดหรือหดตัวขึ้นในเนื้อวัสดุตามลักษณะการกระทำของแรงดึงหรือแรงกด จากการยืดหรือการหดตัวของวัสดุนี้จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ขึ้นในเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุค(Hook's law) จากนั้นจะใช้สเตรนเกจที่ติดอยู่บนผิววัสดุทำหน้าที่เปลี่ยนความเครียดในวัสดุ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

โดยอาศัยกฎของฮุค คุณสมบัติของสเตรนเกจแบบค่าความต้านทานและความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำมาสร้างโหลดเซลแบบค่าความต้านทานที่มีความแม่นยำได้สูง น้ำหนักที่กดลงบนโหลดเซล จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งเมื่อผ่านการขยายและปรับแต่งสัญญาณแล้วจะสามารถแสดงผลออกมาเป็นค่าน้ำหนักได้โดยตรงและที่สำคัญข้อมูลที่อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้ายังง่ายต่อการนำไปใช้ในขบวนการอื่นๆ เช่น การคำนวณ การบันทึก ตลอดจนการใช้งานร่วมกับระบบควบคุมอื่น ก็เป็นไปได้ง่ายขึ้น

จากหลักการทำงานของโหลดเซลดังกล่าว จะเห็นว่าจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญคือ ชิ้นส่วนรับแรง (Sensing element) ส่วนแปลงปริมาณทางกลเป็นปริมาณทางไฟฟ้าโดยในที่นี้คือตัวสเตรนเกจแบบค่าความต้านทาน (Resistance strain gauge) และภาคปรับแต่งสัญญาณ (Signal conditioner)

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทร: 02-5493445, โทรสาร: 02-5493442, อีเมล: narit_kocharit@hotmail.com

โดยการนำเอาหลักการทำงานของโหลดเซลมาประยุกต์ใช้ในการวัดค่าแรงตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเฉือนโลหะของเครื่องมือกล ที่นับเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตทางวิศวกรรมที่เป็นข้อมูลสำคัญอันนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการเพิ่มผลผลิต การปรับปรุงคุณภาพ และการใช้เครื่องมือที่คุ้มค่า โดยการวิจัยนี้เน้นที่การออกแบบไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัดสำหรับในเครื่องจักรการผลิตที่เป็นแรงตัดทั้ง 3 ทิศทาง

2. การออกแบบสร้างไดนาโมมิเตอร์

ในการออกแบบไดนาโมมิเตอร์ สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาคือ ความไว ความแข็งแกร่ง ความยืดหยุ่น ความแม่นยำ ความง่ายในการสอบเทียบ งบประมาณ และความทนทานต่อสภาพแวดล้อมในการตัดเฉือน เช่นเดียวกันนี้ ขนาด รูปร่างและชนิดของวัสดุที่จะนำมาสร้างก็มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านไดนามิกที่เกิดขึ้นบนตัวไดนาโมมิเตอร์ด้วย เช่นเดียวกัน

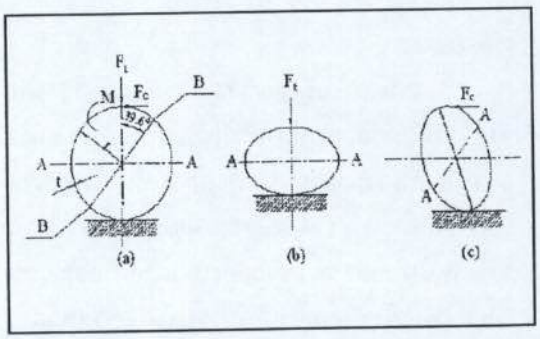
ส่วนประกอบที่สำคัญของไดนาโมมิเตอร์คือส่วนที่เป็นส่วนยืดหยุ่น (Spring components) ที่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติด้านความแข็งแกร่ง และมีค่าความถี่ธรรมชาติสูง มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน และมีการนำความร้อนที่ดี ซึ่งสิ่งที่กล่าวมานี้มักใช้เป็นปัจจัยในการเลือกพิจารณาวัสดุที่จะนำมาทำเป็นโครงสร้างไดนาโมมิเตอร์สำหรับในโครงงานนี้ ได้เลือกวัสดุทำโครงสร้างส่วนยืดหยุ่นเป็น อะลูมิเนียมผสม 6061

การออกแบบไดนาโมมิเตอร์ จุดที่เกิดการยืดหรือหดตัวที่กำหนดให้เป็นจุดติดตั้งสเตรนเกจนั้น ค่าความเครียดที่เกิดขึ้น ต้องมีค่าไม่สูงเกิดกว่าค่าขอบเขตของตัวสเตรนเกจ (Gauge limit) ขั้นตอนในการออกแบบต้องกำหนดขนาดของแรงที่ต้องการวัด จึงนำมาคำนวณขนาดของชิ้นส่วน ต้องควบคุมให้ค่าความเครียดเกิดขึ้นได้ไม่เกินขอบเขตของสเตรนเกจที่จะใช้ มีข้อแนะนำว่าขอบเขตของสเตรนเกจที่ใช้ต้องมีขนาดอย่างน้อย 1.5 เท่าของขนาดความเครียดที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนรับแรง

โดยการเลือกรูปร่างและชนิดของวัสดุ ที่ใช้ทำชิ้นส่วนรับแรงให้เหมาะสมจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดกับแรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วนในลักษณะเชิงเส้น ซึ่งวัสดุชิ้นส่วนรับแรงควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วงกว้าง
2. มีสเตรนฮีสเตอร์ริซีส (Strain hyteresis) ต่ำเมื่อรับโหลดซ้ำ ๆ กัน
3. เกิดครีป (Creep) น้อย เมื่อรับโหลดนาน ๆ คือมีการเปลี่ยนแปลงของความเครียดต่อเวลาต่ำในขณะรับความเค้นคงที่

ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัดนี้ จะถูกออกแบบเป็นแบบชนิดวงแหวนแปดเหลี่ยม (Octagonal Ring) ใช้สเตรนเกจเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณปริมาณความเครียดที่เกิดขึ้นให้เป็นสัญญาณอนาลอกทางไฟฟ้า และสัญญาณที่ได้นี้จะถูกขยายและแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ชุดต่อเชื่อมเซ็นเซอร์ KYOWA PCD-300A และซอฟต์แวร์ควบคุม PCD-300A ประมวลผลสัญญาณวัดออกมาให้อยู่ในรูปกราฟแรงตัดใน 3 ทิศทางที่สัมพันธ์กับแรงที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการผลิตนั้น ๆ



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งการเกิดความเครียดบนวงแหวนวงกลม

ชิ้นส่วนรับรูปวงแหวน (Proving ring type) ชิ้นส่วนรับแรงแบบวงแหวน ความสามารถในการรับน้ำหนัก

ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา หรือความกว้างของวงแหวน เมื่อมีแรงมากระทำต่อวงแหวนจะทำให้เกิดการยืดและหดตัว ของผิวด้านนอกและผิวด้านใน ความเครียดเกิดสูงสุด ณ ตำแหน่งทำมุม 90 องศากับแนวแรงที่มากระทำกับชิ้นส่วนรับแรง พิจารณากรณีที่วงแหวนความเครียดถูกแนวในแนวรัศมีกระทำเพียงตัวเดียว การเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นดังภาพที่ b ขนาดของค่าความเครียดที่เกิดขึ้นสูงสุด ตามทฤษฎีอิลาสติก เกิดขึ้นที่ผิวทั้งด้านในและด้านนอกของวงแหวนที่จุด A มีค่าดังสมการ

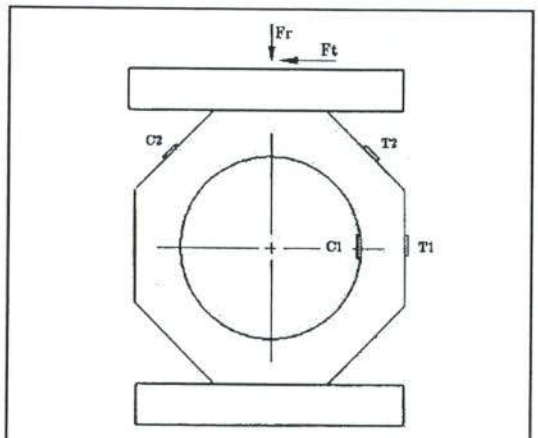
$$\varepsilon_A = \pm \frac{1.09\, F_r \cdot r}{E \cdot b \cdot t^2}$$

ในขณะที่จุด B ที่อยู่ที่ตำแหน่ง 39.6° วัดจากแนวดิ่ง ความเครียดจะมีค่าเป็นศูนย์

กรณีที่วงแหวนความเครียดถูกแรงในแนวเส้นสัมผัสกระทำเพียงตัวเดียว ขนาดของค่าความเครียดที่เกิดขึ้นสูงสุด ตามทฤษฎีอิลาสติก เกิดขึ้นที่ผิวทั้งด้านในและด้านนอกของวงแหวนที่จุด B มีค่าดังสมการ

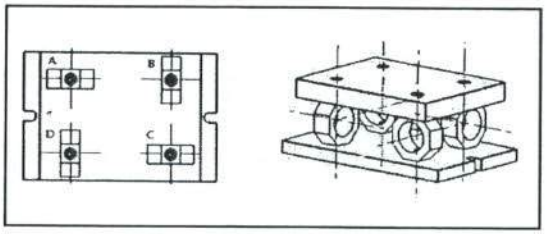
$$\varepsilon_B = \pm \frac{2.18\, F_t \cdot r}{E \cdot b \cdot t^2}$$

ในขณะที่จุด A จะมีความเครียดเป็นศูนย์



ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งการติดสเตรนเกจบนวงแหวนความเครียดแปดเหลี่ยม

เพื่อให้การสร้างวงแหวนเป็นไปอย่างสะดวกและลดความผิดพลาดในการติดตั้งตัวสเตรนเกจ จึงดัดแปลงวงแหวนความเครียดรูปวงกลมไปเป็นวงแหวนความเครียดรูปแปดเหลี่ยม ที่มีผิวด้านในของวงแหวนมีลักษณะวงกลม ดังภาพที่ 3 ทำให้สามารถติดตั้งแผ่นยึดเพื่อยึดวงแหวนให้อยู่กับที่ได้อย่างสะดวก และยังสามารถติดตั้งตัวสเตรนเกจเพื่อวัดแรงแนวเส้นสัมผัสได้ การออกแบบให้ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงได้ทั้ง 3 ทิศทาง คือแรงในแนวแกน $x(F_x)$ แรงในแนวแกน $y(F_y)$ และแรงในแนวแกน $z(F_z)$ และสามารถใช้จับยึดชิ้นงานที่ต้องการตัดเฉือน อีกทั้งสามารถติดตั้งเข้ากับฐานของเครื่องจักรกลได้ ไดนาโมมิเตอร์ประกอบด้วยแผ่นฐานด้านล่างที่ใช้ยึดติดกับฐานเครื่องจักรกล และแผ่นด้านบนที่ใช้ยึดชิ้นงานสำหรับตัดเฉือน โดยที่จัดวางวงแหวนความเครียดแปดเหลี่ยมในทิศทางที่สามารถวัดแรงได้ทั้ง 3 ทิศทาง โดยใช้วงแหวน 4 อัน วงแหวน A และ C วางเพื่อวัดความเครียดในแนวแกน x และวงแหวน B และ D วางเพื่อวัดความเครียดในแนวแกน y ส่วนความเครียดในแนวแกน z จะใช้วงแหวนความเครียดทั้ง 4 ตัววัด

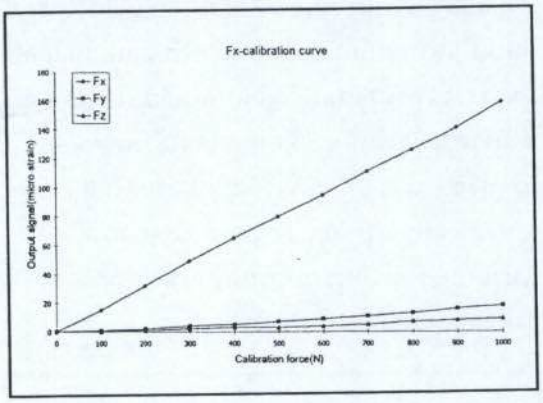


ภาพที่ 3 แสดงการวางตำแหน่งวงแหวนความเครียด

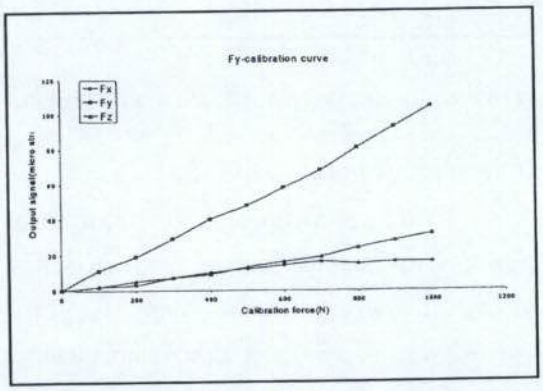
3. การสอบเทียบชุดไดนาโมมิเตอร์

เพื่อต้องการหาขนาดการยุบตัวอิลาสติกของส่วนวงแหวน และสัญญาณขาออกภายใต้ภาระสถิต ชุดไดนาโมมิเตอร์จึงถูกนำมาสอบเทียบแรงในทิศทาง Fx, Fy, และ Fz เพื่อหาความสัมพันธ์ของสัญญาณความเครียดของวงจร กับขนาดของแรงที่กระทำในทิศทางที่กล่าวมา ขนาดของแรงที่ใช้ในการสอบเทียบสูงสุดที่ 1,000 นิวตัน เส้นโค้งการสอบเทียบในแต่ละ

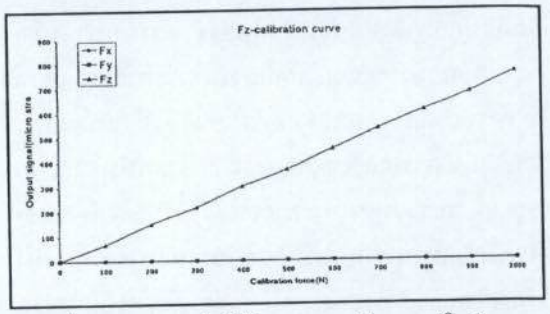
ทิศทางดังแสดงในภาพ ในการทดสอบไดนาโมมิเตอร์ที่จัดสร้างขึ้นจะใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วงทดสอบไดนาโมมิเตอร์ผ่านโหลดเซล LTZ-5TA-J (Kyowa) ทำให้ได้ค่าแรงที่กระทำต่อไดนาโมมิเตอร์ในทิศทางที่ต้องการ การอ่านค่าสัญญาณสเตรนที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำในแต่ละทิศทาง ใช้ชุดเก็บข้อมูล PCD-300A (Kyowa) การทดสอบนี้ทำได้โดยค่อย ๆ การเพิ่มแรงกระทำต่อไดนาโมมิเตอร์ในการทดสอบแต่ละทิศทางจะทำซ้ำกัน 3 ครั้งแล้วนำค่าเฉลี่ยบันทึกเป็นข้อมูล และนำผลการทดสอบเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกราฟ



ภาพที่ 4 แสดงเส้นโค้งการสอบเทียบแรงในทิศทางแกน X

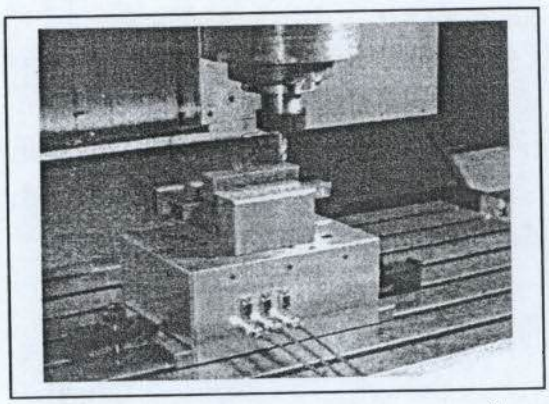


ภาพที่ 5 แสดงเส้นโค้งการสอบเทียบแรงในทิศทางแกน Y

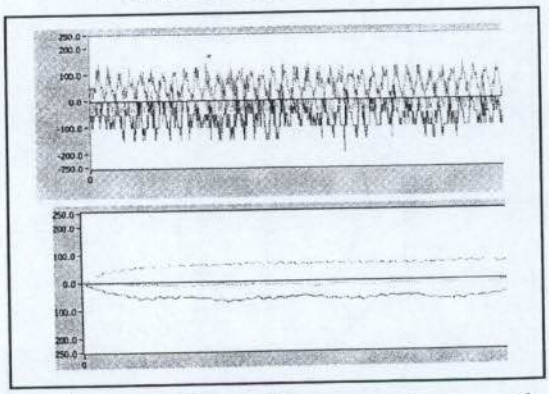


ภาพที่ 6 แสดงเส้นโค้งการสอบเทียบแรงในทิศทางแกน Z

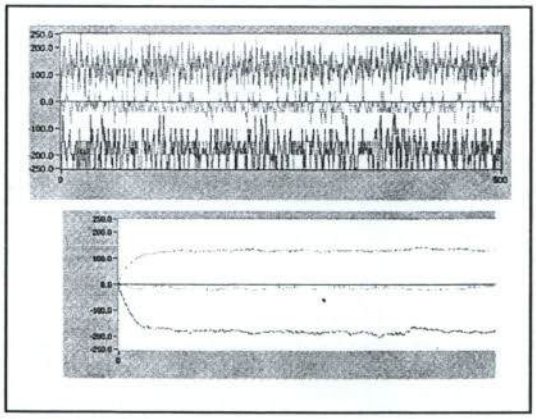
เพื่อให้เห็นความแตกต่างของสัญญาณแรงตัดที่เกิดจากการกัดวัสดุ กำหนดให้มีการทดลองโดยใช้มีดกัดคัตเตอร์ปลายตัดราบ (Flat end mill cutter) ชนิด 4 ร่องฟัน วัสดุมีดเป็นเหล็กรอบสูง (HSS) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. โดยกำหนดสภาวะในการกัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 7 แสดงการทดลองวัดสัญญาณแรงตัด 3 ทิศทางจากการกัด



ภาพที่ 8 แสดงเส้นกราฟสัญญาณแรงตัด ความลึกตั้งตัด (d_c) =2 mm, ความกว้างตั้งกัด (b)=10 mm, ความเร็วรอบ(N)=600 rpm, อัตราการกัด(fr)=60 mm/min ก่อนและหลังกรองสัญญาณ



ภาพที่ 9 แสดงเส้นกราฟสัญญาณแรงตัด ความลึกตั้งตัด (d_c) = 5 mm, ความกว้างตั้งกัด (b)= 10 mm, ความเร็วรอบ (N)=600 rpm, อัตราการกัด (fr)=60 mm/min ก่อนและหลังกรองสัญญาณ

4. สรุปผลการทดสอบ

สำหรับไดนาโมมิเตอร์ที่ออกแบบมานี้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจมีคุณสมบัติดังนี้คือ วัดแรงตัดในแต่ละทิศทางได้สูงสุด 3,000 นิวตัน สำหรับงานกัด สัญญาณแรงกัดสามารถจัดเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ต่อไปได้ ความสัมพันธ์ของแรงตัดกับสัญญาณสเตรนที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นสูง และช่วยลดต้นทุนในการนำเข้าเครื่องมือประเภทเดียวกันนี้ที่มีราคาสูงจากต่างประเทศ

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องมือต่อไปคือ ควรจัดหาชุดประมวลผลข้อมูล (Data acquisition) สำหรับประมวลผลสัญญาณที่วัดได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น และควรมีการออกแบบขนาดของเครื่องมือให้มีความกะทัดรัด และค่าความไวของสัญญาณต่อกัน (Cross sensitivity) ต้องออกแบบให้มีค่าลดลงเพื่อผลของสัญญาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้น และสมรรถนะของเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาควรที่จะมีการทดสอบหาคุณสมบัติที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เช่น คุณสมบัติด้านฮีสเตอรีซีส คุณสมบัติด้านการรับแรงซ้ำๆ คุณสมบัติด้านความไวต่ออุณหภูมิ คุณสมบัติด้านความไม่เป็นเชิงเส้น เป็นต้น และจากหักการออกแบบไดนาโมมิเตอร์ในโครงงานนี้สามารถนำไปสู่การประยุกต์ดัดแปลงใช้ในงานวัดการตัดเฉือนในเครื่องจักรกลชนิดอื่นๆได้ เช่น งานกลึง งานเจาะ งานเจียระไน และยังสามารถนำไปเป็นเครื่องมือในงานวิจัยในสาขาที่เกี่ยวได้อีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Shaw MC. Metal Cutting Principles. Oxford: Clarendon Press; 1984.

[2] Ito S, Sakai S, Ishikawa M. Bull. Jap. Soc. Precise. Engrs. 1980; 14-25.