



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรซีเอ็นซี ในงานหัตถกรรมไม้ยางพารา

โดย

รศ.ดร. พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และคณะ

พฤศจิกายน 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรซีเอ็นซี
ในงานหัตถกรรมไม้ยางพารา

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. รศ. ดร. ชิต เหล่าวัฒนา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. รศ.ดร. พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. ดร. กุศล พร้อมมูล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 4. อ.สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และเยื่อ”

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

(Executive Summary)

นับตั้งแต่ ปี พ.ศ.2532 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง ได้ถูกนำมาพัฒนาให้มีความแข็งแรงและทนทานพอที่สามารถนำมาทำเครื่องเรือนได้ ทำให้ไม้ยางพารามีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะปี 2544 ที่ผ่านมา เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 55,757 ล้านบาท ปัญหาและอุปสรรคของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เกิดจากการแข่งขันค่อนข้างรุนแรงโดยในส่วนของตลาดล่างและระดับกลาง เช่น ตลาดในสหรัฐอเมริกาซึ่งเน้นราคาที่เหมาะสมผลกับสินค้า โดยมีประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย จีน และเวียดนาม เป็นคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญของไทย ซึ่งใช้กลยุทธ์การตัดราคา ส่วนตลาดระดับบน เช่น ประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกา จะเน้นคุณภาพมากกว่าราคา ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสขยายตัวและแข่งขันได้มากกว่า โดยเฉพาะตลาดใหม่ได้แก่สแกนดิเนเวีย ออสเตรเลีย และตะวันออกกลาง

การพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพสูงต้องมีการควบคุมการผลิตทุกขั้นตอน การรักษาคุณภาพของสินค้าให้สม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญ และจะเป็นหลักประกันคุณภาพในตัวสินค้า ปัจจุบันได้มีการนำเอาเครื่องจักรซีเอ็นซีเข้ามาใช้ในการผลิตสินค้าเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา เพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนมากขึ้น โดยที่ใช้เวลาสั้นลงจากเดิม และเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ แต่จากที่โรงงานแต่ละแห่งยังไม่สามารถเร่งปริมาณการผลิตของตนเองให้อยู่ในระดับที่ควรจะเป็น ซึ่งเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ในความเป็นจริงสามารถใช้ได้ถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเห็นว่ามีส่วนที่สูญเสียจากการใช้งานไม่คุ้มค่าของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นควรมุ่งพัฒนาเพื่อขยายอัตราการผลิต หรืออีกนัยหนึ่งคือหาวิธีการที่ทำให้สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีอย่างคุ้มค่า และเหมาะสม

ข้อได้เปรียบของการนำเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมาใช้งานอุตสาหกรรมเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา คือ ประการแรกสามารถโปรแกรมให้เครื่องจักรผลิตสินค้าได้หลายรูปแบบภายในระยะเวลาอันสั้น ประการที่สองเครื่องจักรกลสามารถผลิตงานที่ซ้ำได้ตลอด โดยที่มีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน อย่างไรก็ตามเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีข้อเสียเปรียบในเรื่องของราคา การบำรุงรักษา ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ราคาของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ ความแม่นยำ และความเที่ยงตรง แต่การลงทุนดังกล่าวถือว่าเป็นการลงทุนที่มาก จึงจำเป็นที่ต้องทราบถึงการใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องมือ

อย่างถูกต้องเพื่อให้คุ้มทุน และสร้างกำไรในการดำเนินการอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปไม้ยางพารา เช่น อัตราการป้อน ความเร็วการกัดของใบมีด และความลึกในการกัด ซึ่งในปัจจุบันเงื่อนไขเหล่านี้อาศัยความชำนาญของพนักงานเป็นหลัก เนื่องจากไม่มีตารางการผลิตสำหรับไม้ยางพาราที่ได้รับการศึกษาค้นคว้าตามหลักวิชาการดังเช่นในงานโลหะ ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปไม้ยางพารา จึงจำเป็นต้องศึกษาวิจัย การหาตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีในหัตถกรรมไม้ยางพารา อย่างจริงจังเพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานวิจัยที่มี ผลประโยชน์ทางวิชาการและเชิงปฏิบัติ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

ในการกัดไม้ยางพาราเพื่อที่จะทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะเครื่องเรือน กระบวนการที่สำคัญ และใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือ กระบวนการกัด โดยการใช้มีดกัดที่เรียกกันว่า เราเตอร์ (Router) เพราะผิวที่ได้จากกระบวนการกัดดังกล่าว จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้ากำหนดเงื่อนไขของการกัดไม่ดีพอ ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาอันเปล่าประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ในการที่จะทำผิวที่ผ่านการกัดนั้นไปทำการขัดตกแต่งผิวเพื่อให้ได้ผิวเรียบและสวยงาม ชำยังทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลต่อราคาค่าต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์สูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น และในบางกรณียังทำให้ชิ้นงานเสียไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการรื้อซากที่ผิวทำให้เกิดรอยลึกเข้าไปในเนื้อไม้หรือชิ้นงาน ส่งผลทำให้สูญเสียทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า ซึ่งทรัพยากรไม้ยางพารานั้นวันมีปริมาณน้อยลงไปทุกที ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์กระบวนการกัดเป็นหลัก โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อหาเงื่อนไขในการแปรรูปไม้ยางพาราที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดดุลยภาพระหว่างคุณภาพผิวของชิ้นงาน อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด และอัตราการผลิต รวมทั้งจัดสร้างตารางเกี่ยวกับค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของคุณภาพผิวชิ้นงานที่ทำจากไม้ยางพารา อัตราการผลิต และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดกับเงื่อนไขต่างๆ

ในงานวิจัยนี้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้แบ่งการทดลองไว้ทั้งหมด 209 ชุดการทดลอง โดยแบ่งเป็นการทดลองโดยใช้มีดกัดทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide: TC) ทั้งหมด 188 ชุดการทดลอง แยกเป็นคมตัดแบบเชื่อมติดและคมตัดแบบถอดเปลี่ยนได้ และ มีดกัดเพชรหลายผลึก (Polycrystal diamond: PCD) 9 ชุดการทดลอง และอิทธิพลของมุมตัดเฉือน และเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ชุดการทดลอง โดยจะทำการกัดไม้จริง (Solid wood) ที่ได้จากการนำไม้ท่อนมาต่อกันเป็นแผ่น (Finger joint) ในการทดลองข้างต้น นอกจากจะกำหนดพารามิเตอร์ในการกัด ซึ่งก็คือความเร็วรอบของใบมีดและอัตราการป้อนกัดแตกต่างกันแล้ว จะทำการตรวจสอบคุณภาพผิวไม้ ทั้งการกัดแบบขวางเส้นและขนานเส้นไม้

และทั้งในกรณีการคัดแบบตามทิศทางการป้อนกั (Downcut) และสวนทิศทางการป้อนกั (Upcut) และ จะทำการตรวจสอบการสึกหรอของใบมีดที่ได้จากการกัทั้งการทดลองจริงและการหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อ เป็นการเปรียบเทียบ

ในการวิจัยได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก 3 หน่วยงาน คือ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) เป็นหน่วยงานหลัก และมีศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ร่วมสนับสนุนในรูปแบบ In cash โดยมีบริษัท เอสดีพี อินเทอร์เน็ต จำกัด ร่วมให้การสนับสนุนในรูปแบบ In kind เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม 2544 ใช้ระยะเวลาในการวิจัยตลอดโครงการ 4 ปี 8 เดือน (เกินจากแผนงานเดิมที่กำหนด ไว้ 18 เดือน เป็นเวลา 3 ปี 2 เดือน ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจาก ความเข้าใจในการแก้ไขปัญหาที่ไม่สมบูรณ์ใน เวลาที่กำหนด เพราะเป็นเครื่องรุ่นใหม่ และซอฟต์แวร์ควบคุมที่ผู้ผลิตปรับปรุงพัฒนาใหม่ ระหว่าง ตัวแทนจำหน่ายและผู้ผลิต (อิตาลี) ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องต่อการดำเนินงาน)

จากผลการดำเนินงานวิจัย ทำให้ได้ข้อมูลที่จะใช้กำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัไม้ ยางพาราด้วยใบมีดชนิดต่างๆ โดยสร้างเป็นตารางการกำหนดเงื่อนไขให้กับภาคอุตสาหกรรมสามารถ นำไปใช้ได้ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในการดำเนินงานวิจัยในส่วนของการสึก หรอของใบมีด พบว่าการตรวจสอบการสึกหรอในห้องปฏิบัติการเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องทำการกั ไม้เป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลจากผลการทดลองบางส่วน ร่วมกับข้อมูลที่ค้นคว้าเพิ่มเติม รวมทั้ง เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกัน เป็นข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตารางการกำหนดเงื่อนไขในการใช้ งานขึ้น นอกจากนั้น ผลประโยชน์ทางอ้อมที่ได้จากการทำงานวิจัยชิ้นนี้ คือ สามารถผลิตนักวิจัยระดับ ปริญญาโทจำนวน 1 คน และระดับปริญญาตรีอีกจำนวน 7 คน

ผลการวิจัยส่วนใหญ่ได้ถูกเผยแพร่ในรูปแบบของบทความวิจัยในประเทศจำนวน 3 เรื่อง และ บทความวิจัยในที่ประชุมวิชาการนานาชาติจำนวน 1 เรื่อง นอกจากนั้นได้เผยแพร่ในรูปแบบของการจัดอบรม จำนวน 2 ครั้ง

Executive Summary

Thailand has long been exporting furniture made from rubber wood to a number of countries. Since 1992, rubber wood has been developed so that it can be used for making furniture. In 2001, Thailand had exported furniture, made from rubber wood, approximately 55,757 million Baths in value. There exists strong competition in the exporting especially to America. The competitors may include Malaysia, Indonesia, China, and Vietnam. On the other hand, exporting to such countries as Japan and some European countries is still open for Thai exporters to expand their business because products exported to these countries require high qualities with almost no limit of the price.

To improve the quality of the products, Computer Numerical Control machines (CNC machines) have been used for producing parts of furniture. This will provide the increase in productivity and the consistence in quality. However, most of furniture manufacturers have utilized their machines about 30 percentage. So, there should be researches targeting to increase machine utilization.

Advantages of using CNC machines in furniture manufacturing are that a number of different designs can be produced in a timely fashion and that the same part can be repeatedly produced with the same quality. Nevertheless, cost of a CNC machine and maintenance cost are very high. Optimal conditions for manufacturing furniture parts become necessary in order to optimize machines utilization. The three main conditions include federate, cutting speed, and depth of cut. Currently, these conditions are determined accordingly to operator expertise because the optimized conditions for rubber wood cutting are not well provided as in metal working.

In wood cutting for making furniture, the most extensively used process is milling process, so called “router” in wood machining. Machined surface is a key factor in determining finish product quality. This is because more extra time will be needed for hand finishing process if rougher surface is produced from the machining operation. This will lead to more production cost. In some cases, the parts may have to be scraped because there are tear that is so deep that the part cannot be reworked. The aim of this research is to investigate the optimized conditions in rubber wood cutting which lead to good surface finish, tool life, and production rate. In addition, table illustrated the recommended cutting conditions for each tool type will be provided.

In this research, experiments are divided into 209 sets, 188 sets for Tungsten Carbide (TC) cutting tools (both blazing and insert tools), 9 sets for Polycrystal Diamond (PCD) cutting tools, and 12 sets for effects of shear angle and tool diameter. Workpiece used in the experiments is made from solid wood by finger jointing small strips. Spindle speeds and federates are varied in order to examine machined surface. Furthermore, experiments are designed to vary cutting conditions as along grain, across grain, upcut, and downcut.

This research has been sponsored by three sources, TRF (a major source) and MTEC in terms of in-cash funding, and SDP Intertrade Co., Ltd. in terms of in-kind funding. The research has started since May 2001 and taken for a period of 4 years and 8 months. Reasons for being a delay of 3 years and 2 months are mainly because it is being not-entirely understanding of problem solving caused by the first-time used machine and the modified software by the manufacturer of the new machine.

Result of this research is data for determining optimal conditions that will be used for rubber wood machining with different types of cutting tools. Because lots of wood workpieces will be used in wear study, this research has investigated wear on cutting tools on some conditions. Also literature review on wear has done for supporting the research finding. In addition, one Master student and 7 undergraduate students have graduated from this research.

Three conference papers and one international conference paper have been published from this research. And two seminars, intended for furniture manufacturers, were held.

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรซีเอ็นซีในงานหัตถกรรมจากไม้ยางพารา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการกัดไม้ยางพาราด้วยใบมีดชนิดเพชรหลายผลึกและชนิดทังสเตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติดและแบบถอดเปลี่ยนได้ ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วในการกัด อัตราการป้อนกัด ทิศทางการป้อนกัดเทียบกับทิศทางเสี้ยนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และมุมตัดเฉือนและเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด ผลการทดลองพบว่า การเกิดขุยส่วนใหญ่ของใบมีดเพชรหลายผลึกเกิดขึ้นในการกัดขวางเสี้ยนไม้ แต่การเกิดขุยส่วนใหญ่ของใบมีดทังสเตนคาร์ไบด์เกิดขึ้นในการกัดขนานเสี้ยนไม้ และการเกิดขุยส่วนใหญ่จะเกิดในกรณีการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด การฉีกของไม้จะเกิดขึ้นง่ายกว่าเมื่อตัดแบบสวนทิศทางการป้อน แต่การฉีกขาดของเนื้อไม้จะลดลงเมื่อใช้ใบมีดที่มีมุมตัดเฉือน ส่วนการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดขึ้นมากในกรณีตัดขวางเสี้ยนไม้แบบตามทิศทางการป้อน แต่จะไม่พบการฉีกและการหลุดเมื่อใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึก ส่วนความเรียบผิวกรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนหรือตามทิศทางการป้อนมีลักษณะไปในทางเดียวกันคือ เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงค่าความเรียบผิวที่ได้แย่ง และค่าความเรียบผิวจะแตกต่างกันชัดเจนระหว่างการกัดตามเสี้ยนไม้และกัดขนานเสี้ยนไม้ โดยที่การกัดขวางเสี้ยนไม้ให้ผิวชิ้นงานหยาบกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวจากการตัดโดยใช้ใบมีดชนิดต่างๆพบว่า ใบมีดแบบเพชรหลายผลึกจะให้ชิ้นงานที่มีความเรียบผิวดีที่สุด รองลงมาคือใบมีดทังสเตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้ และแบบเชื่อมติดตามลำดับ และที่ความเร็วรอบในการกัดที่สูงจะใช้กระแสไฟฟ้าในการกัดที่ต่ำ การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดระหว่าง 18-22 มิลลิเมตร ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของคุณภาพผิวไม้และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นสามารถทำนายคุณภาพผิวไม้ที่ได้จากการกัดด้วยเงื่อนไขต่างๆ ได้ความแม่นยำในช่วงที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : การกัดไม้ยางพารา/มีดทังสเตนคาร์ไบด์ / มีดเพชรหลายผลึก/เครื่องซีเอ็นซี / คุณภาพผิวชิ้นงาน

Investigation of Optimum Working Conditions in Using CNC Machine to Produce Rubber-Wood Furniture

Abstract

The objective of this research is to study parameters that affect the efficiencies of the CNC routing process for manufacturing rubber-wood furniture using PCD (Polycrystal Diamond) and TC (Tungsten Carbide) cutting tools. There are two types of TC Cutting tools used, including a blazing type and a turnover type. In this research, the cutting conditions that affect surface roughness, flake, wood tearing and split, and power consumption were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, cutting directions (relative to wood-grain orientations), and inclination angle and diameter of cutting tools. The results show that, if using PCD tools, wood flake occurs when cutting across wood grain. But, if using TC tools, the flake normally occurs when cutting along grain. Down cutting was likely to produce flake than using up cutting. Compared to down cutting, up cutting has more tendency to produce wood tearing. However, this will diminish if cutters having inclination angle were used. Wood split will occur more frequently when cutting across grain using down cutting. However, wood tearing and splitting were not found if PCD tools were used. The results of roughness measurement have shown that the higher the feed rate used, the higher the surface roughness (Ra) will be detected on wood surface, regardless of cutting directions (up cutting or down cutting). Cutting along grain will produce much better surface finish than cutting across grain. Compared among three types of the tools used, it is obvious that PCD tools have produced the best surface finish, following by turnover-TC tools and blazing-TC tools. When power consumption is measured in terms of electric current, the result has shown that cutting at lower speed will consume more power than higher speed. As tool diameters have changed from 18 mm to 22 mm, the changes in surface quality and power consumption are not apparent. In addition, the neural network model, developed from the experimental results in order to predict the quality of the wood cutting, can predict the result within an acceptable range of errors.

Keywords: Cutting Rubber-Wood / Tungsten Carbide Cutting Tool / Polycrystal Diamond Cutting Tool / Surface Quality

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	i
Executive summary (English)	iv
บทคัดย่อภาษาไทย	vi
Abstract (English)	vii
สารบัญ	viii
บทที่	
1. บทนำ	1-1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1-3
2. ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 สมบัติของเนื้อไม้	2-1
2.2 พื้นฐานงานระบบซีเอ็นซี	2-5
2.3 วัสดุแข็งมากสำหรับทำไบมิด	2-8
2.4 การวัดความเรียบผิว	2-10
2.5 ทฤษฎีการตัดเนื้อไม้	2-12
2.6 ระบบโครงข่ายประสาทเทียม	2-20
2.7 การสึกหรอของไบมิด	2-23
2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-28
3. การดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	3-2
3.2 ลักษณะการกัดไม้	3-5

3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผล	3-6
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	3-6
3.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคุณภาพผิว	3-9
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	4-1
4.1 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึก	4-1
4.2 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด	4-7
4.2.1 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดตรง	4-7
4.2.2 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดรูปร่าง	4-13
4.3 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้	4-20
4.3.1 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดตรง	4-20
4.3.2 กรณีใบมีดลักษณะคมตัดรูปร่าง	4-26
4.4 อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือน	4-32
4.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคุณภาพผิวของไม้ที่ตัดด้วยใบมีดแบบเชื่อมติด	4-38
4.6 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดกัด	4-39
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	5-1
5.1 สรุปผลงานวิจัย	5-1
5.2 ข้อเสนอแนะ	5-5
เอกสารอ้างอิง	อ-1
ภาคผนวก	
ก ความเสียหายของไม้ที่เกิดขึ้น	ก-1
ข โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม	ข-1
ค การเผยแพร่และถ่ายทอดข้อมูล	ค-1

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไม้	2-2
รูปที่ 2.2 การทำไม้อัด	2-4
รูปที่ 2.3 แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง	2-4
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความทนต่อการสึกหรอของมิดและความแข็งของวัสดุ	2-9
รูปที่ 2.5 รูปร่างความเรียบผิว	2-11
รูปที่ 2.6 รูปทรงเรขาคณิตของมิดกัด	2-13
รูปที่ 2.7 มุมมิดมาตรฐานทั่วไปที่นำมาตัดเฉือนเนื้อไม้	2-14
รูปที่ 2.8 เมื่อมุมหน้ามิดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกเป็นแนวจนกระทั่งเนื้อไม้เกิดการแตกหักเหนือคมตัด	2-14
รูปที่ 2.9 เมื่อมุมคมมิด มีค่าพอดีจะให้ผิวงานที่มีคุณภาพดี และลักษณะเศษ ไม้ที่เกิดขึ้นจะมีความต่อเนื่อง	2-15
รูปที่ 2.10 เมื่อมุมคมมิดมีค่ามากเกินไป ลักษณะผิวงานที่เกิดจะมีลักษณะเป็นขุย	2-15
รูปที่ 2.11 การกัดไม้แบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut)	2-16
รูปที่ 2.12 การกัดไม้แบบกัดตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut)	2-16
รูปที่ 2.13 เศษไม้ที่เกิดขึ้นจากการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนที่ระยะการกินลึก $\frac{1}{2}$ นิ้ว (A และ C) และ $\frac{1}{4}$ นิ้ว (B และ D)	2-17
รูปที่ 2.14 การกัดไม้ตามทิศทางเส้นไม้	2-17
รูปที่ 2.15 การกัดไม้ขนานเส้นไม้	2-18
รูปที่ 2.16 การกัดไม้ขวางเส้นไม้	2-18
รูปที่ 2.17 การกัดไม้สวนเส้นไม้	2-18
รูปที่ 2.18 การกัดไม้ตามรอยต่อไม้	2-18
รูปที่ 2.19 แสดงการตัดเฉือนไม้ของใบมิดกัด	2-19
รูปที่ 2.20 ผลกระทบของมุมตัดเฉือนต่อแรงในการกัดชิ้นงาน	2-20
รูปที่ 2.21 เซลล์ประสาท (Neuron)	2-21
รูปที่ 2.22 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	2-22

รูปที่ 2.23	แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model)	2-23
รูปที่ 2.24	ชนิดการลืกรอบนมีคคมคค	2-25
รูปที่ 2.25	กราฟแสดงควมสัมพันธ์ของการพัฒนาของการลืกรอด้านข้าง กับการกำหนดอายุการใช้งานของโบบมีค	2-27
รูปที่ 2.26	การลืกรอบนผวโบบมีคด้านข้าง	2-28
รูปที่ 3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย	3-1
รูปที่ 3.2	ทิศทางการกคคแบบสวนทิศทางการป้อน	3-5
รูปที่ 3.3	ทิศทางการกคคแบบตามทิศทางการป้อน	3-5
รูปที่ 3.4	เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง	3-7
รูปที่ 3.5	มัย่างพาราที่ใช้ในการทดลอง	3-7
รูปที่ 3.6	แสดงโบบมีคทงสเดนคาร์โบบคที่ใช้ทดลอง	3-8
รูปที่ 3.7	เครื่องวัดควมเรียบผวเทอร์-ฮอบสัน	3-8
รูปที่ 3.8	เครื่องวัดปริมาตรกระแสไฟฟ้าแบบแคลมป้อนมิเตอร์	3-9
รูปที่ 3.9	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกหัด	3-10
รูปที่ 3.10	ข้อมูลในชุดฝึกหัดของโครงข่ายประสาทเทียม	3-11
รูปที่ 4.1	ลักษณะการเกิดขุขม้ท่วไปเปรียบเทียบกับขุขม้ที่เกิดที่ขอบชิ้นงาน	4-2
รูปที่ 4.2	การกคคแบบสวนทิศทางการป้อนกคค	4-2
รูปที่ 4.3	ควมสัมพันธ์ระหว่างควมเร็วรอบและควมเรียบผวกรณีกคคทิศทางขงนเปลี่ยนม้ แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)	4-3
รูปที่ 4.4	ควมสัมพันธ์ระหว่างควมเร็วรอบและควมเรียบผวกรณีกคคทิศทางขงนเปลี่ยนม้ แบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)	4-4
รูปที่ 4.5	ควมสัมพันธ์ระหว่างควมเร็วรอบและควมเรียบผวกรณีกคคทิศทางขงนเปลี่ยนม้ แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)	4-4
รูปที่ 4.6	ควมสัมพันธ์ระหว่างควมเร็วรอบและควมเรียบผวกรณีกคคทิศทางขงนเปลี่ยนม้ แบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)	4-5
รูปที่ 4.7	การกคคกรณีขงนเปลี่ยนม้	4-5
รูปที่ 4.8	ปริมาตรกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกคคแบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)	4-6
รูปที่ 4.9	ปริมาตรกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกคคแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)	4-6

รูปที่ 4.10	การกักตุนตามเส้นไม้	4-8
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที	4-9
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที	4-9
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที	4-10
รูปที่ 4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที	4-10
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที	4-11
รูปที่ 4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที	4-11
รูปที่ 4.17	แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน	4-12
รูปที่ 4.18	แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน	4-13
รูปที่ 4.19	การกัดชิ้นงานโดยใช้ใบมีดคมตัดแบบรูปร่าง	4-14
รูปที่ 4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที	4-15
รูปที่ 4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที	4-16
รูปที่ 4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที	4-16
รูปที่ 4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที	4-17
รูปที่ 4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที	4-17
รูปที่ 4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกักที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที	4-18

รูปที่ 4.42 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน	4-31
รูปที่ 4.43 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของการกัดแบบตามทิศทางการป้อน	4-31
รูปที่ 4.44 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขนานเลื่อนไม้แบบสวนทิศทางการป้อน	กำหนดค่า 4-34
รูปที่ 4.45 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขนานเลื่อนไม้แบบตามทิศทางการป้อน	กำหนดค่า 4-34
รูปที่ 4.46 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขวางเลื่อนไม้แบบสวนทิศทางการป้อน	กำหนดค่า 4-35
รูปที่ 4.47 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิวโดย ความเร็วในการกัดคงที่ (1020 m/min) ในการกัดขวางเลื่อนไม้แบบตามทิศทางการป้อน	กำหนดค่า 4-35
รูปที่ 4.48 อิทธิพลเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิว โดยใช้ใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน	4-36
รูปที่ 4.49 อิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดและมุมตัดเฉือนที่มีต่อความเรียบผิว โดยใช้ใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน	4-36
รูปที่ 4.50 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน	4-37
รูปที่ 4.51 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน	4-37
รูปที่ 4.52 แสดงทิศทางการมองการสึกหรอด้านข้างของใบมีด	4-40
รูปที่ 4.53 ภาพถ่ายเพื่อแสดงการสึกหรอของใบมีดตัดด้านที่ 1	4-41
รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายเพื่อแสดงการสึกหรอของใบมีดตัด ด้านที่ 2	4-42
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและระยะทางการกัดไม้	4-43
รูปที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้ากับระยะทางการกัด	4-43
รูปที่ ก.1 การฉีกขาดของเนื้อไม้	ก-1
รูปที่ ก.2 การหลุดของเนื้อไม้	ก-1
รูปที่ ก.3 รอยไหม้ของเนื้อไม้	ก-2
รูปที่ ก.4 ไม่มีขุยเกิดขึ้น	ก-2
รูปที่ ก.5 มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย (1-15 เปอร์เซ็นต์)	ก-3
รูปที่ ก.6 มีขุยเกิดปานกลาง (16-30 เปอร์เซ็นต์)	ก-3
รูปที่ ก.7 มีขุยเกิดมาก (30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป)	ก-4
รูปที่ ก.8 ลักษณะขุยที่เกิดขึ้นบนขอบชิ้นงาน	ก-4

รูปที่ ก.9	การกั้ดไม้แบบขนานเสี้ยนไม้	ก-5
รูปที่ ก.10	การกั้ดไม้แบบขวางเสี้ยนไม้	ก-5
รูปที่ ข.1	หน้าต่างโปรแกรม แม็ทแล็บ (Matlab) ในการเขียนโครงข่ายประสาทเทียม	ข-1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานกรณีใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก	4-1
ตารางที่ 4.2 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ คมตัดตรงแบบเชื่อมติด	4-7
ตารางที่ 4.3 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ คมตัดรูปร่างแบบเชื่อมติด	4-14
ตารางที่ 4.4 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ คมตัดตรงแบบถอดเปลี่ยนได้	4-21
ตารางที่ 4.5 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการกัดโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ คมตัดรูปร่างแบบถอดเปลี่ยนได้	4-26
ตารางที่ 4.6 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานของใบมีดแบบไม่มีมุมตัดเฉือน	4-32
ตารางที่ 4.7 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานของใบมีดแบบมีมุมตัดเฉือน (5 องศา)	4-33
ตารางที่ 4.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับผลการทดลอง	4-39
ตารางที่ 5.1 การกำหนดเงื่อนไขในการกัดที่เหมาะสมของใบมีดแบบเพชรหลายผลึก และใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์	5-3
ตารางที่ ข.1 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้	ข-7
ตารางที่ ข.2 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้	ข-8
ตารางที่ ข.3 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้	ข-9
ตารางที่ ข.4 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้	ข-10
ตารางที่ ข.5 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้	ข-11
ตารางที่ ข.6 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้	ข-12
ตารางที่ ข.7 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้	ข-13
ตารางที่ ข.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้	ข-14
ตารางที่ ข.9 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้	ข-15
ตารางที่ ข.10 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้	ข-16

ตารางที่ ข.11 ความผิดพลาดจากการทำนายผลนึ่งและหลุดของการกัคไม้	ข-17
ตารางที่ ข.12 ความผิดพลาดจากการทำนายผลนึ่งและหลุดของการกัคไม้	ข-18

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

นับตั้งแต่ ปี พ.ศ.2532 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง ได้ถูกนำมาพัฒนาให้มีความแข็งแรงพอที่สามารถนำมาทำเครื่องเรือนได้ ทำให้ไม้ยางพารามีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะปี 2544 ที่ผ่านมามีเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 55,757 ล้านบาท [10]

ไม้ยางพาราที่นำมาใช้ในการแปรรูปควรมีอายุ 20 ปีขึ้นไป แต่ในปัจจุบันพบว่ามีการนำไม้ยางพาราที่อายุเพียง 15-16 ปี มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ไม้ยางพารานี้มีมูลค่าต่ำเนื่องจากมีแรงเค้น (Growth Stress) ตกค้างสูง เมื่อนำมาแปรรูปจะเกิดการโค้งงอหรือรอยแตกได้ง่าย โดยปกติไม้ยางพาราที่นำมาใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 6 นิ้ว โดยเริ่มต้นจะถูกเข้ามาในโรงเลื่อยแปรรูป ผ่านโรงอาบน้ำยาเพื่อป้องกัน และทำลายเชื้อรา แล้วอบเพื่อลดความชื้นให้อยู่ในระดับ 12% สำหรับไม้ที่ใช้ในประเทศ และ 8% สำหรับส่งออก จากนั้นตอนดังกล่าวจะได้ไม้ท่อนขนาดความหนา $1/2 - 1 \frac{3}{4}$ นิ้ว หน้ากว้าง 2-4 นิ้ว ยาว 1 เมตร กับ 1.3 เมตร และพบว่าท่อนไม้ปริมาณ 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) หรือเทียบเท่า 1.3 ลูกบาศก์เมตร ให้ไม้แปรรูปเกรด A ร้อยละ 17.6% เกรด B ร้อยละ 27% และที่เหลือเป็นเกรด C [3]

ปัญหาและอุปสรรคของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เกิดจากการแข่งขันค่อนข้างรุนแรงในตลาดกลางและระดับกลาง เช่นตลาดในสหรัฐอเมริกาซึ่งเน้นราคาที่เหมาะสมผลกับสินค้า โดยมีประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย จีน และเวียดนาม เป็นคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญ ซึ่งใช้กลยุทธ์การตัดราคา ส่วนตลาดระดับบน เช่นประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกา จะเน้นคุณภาพมากกว่าราคา ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสขยายตัวและแข่งขันได้มากกว่า โดยเฉพาะตลาดใหม่ ได้แก่กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย ออสเตรเลีย และตะวันออกกลาง

การพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพสูงต้องมีการควบคุมการผลิตทุกขั้นตอน ตั้งแต่คุณภาพของวัตถุดิบ การทดสอบคุณภาพสินค้าระหว่างการผลิตจนกระทั่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ ทุกขั้นตอนต้องพิถีพิถัน โดยเฉพาะสินค้าที่มีชื่อเสียงที่ได้รับความนิยมสูง ดังนั้นการรักษาชื่อเสียงจึงจำเป็นอย่างยิ่งซึ่งสามารถทำได้โดยรักษาคุณภาพให้สม่ำเสมอตนเอง การรักษาให้สินค้ามีคุณภาพสูงสม่ำเสมอ ต้องมีมาตรฐานการผลิตที่เขียนบ่งชี้ได้อย่างชัดเจน และต้องนำไปปฏิบัติอย่างจริงจังเพื่อเป็นหลักประกันคุณภาพในตัวสินค้า

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเครื่องจักรกลซีเอ็นซีงานไม้ มาใช้ในการผลิตสินค้าเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา เพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนมากขึ้น โดยที่ใช้เวลาสั้นลงจากเดิม เพราะเนื่องจากจุดที่น่าสนใจของกระบวนการผลิตเครื่องเรือนจากไม้ยางพารานั้น มีราคาต้นทุนต่อชิ้นที่ต่ำเมื่อเทียบกับไม้จริง (solid wood) ชนิดอื่น เช่น ไม้สัก ไม้เบญจพรรณ เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถทำมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น นั้นหมายถึง กำไรที่เพิ่มขึ้นอย่างมากด้วย แต่จากที่โรงงานแต่ละแห่งยังไม่สามารถที่เร่งปริมาณการผลิตของตนเองให้อยู่ในระดับที่ควรจะเป็น ซึ่งเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานเครื่องจักรกลซีเอ็นซีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ [3] ในขณะที่ในความเป็นจริงของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถใช้งานได้ถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีสูญเสียไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งโรงงานต้องปฏิเสธรายการสั่งทำเครื่องเรือนที่คิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท เพราะไม่สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของผู้ซื้อ ดังนั้นควรมุ่งพัฒนาเพื่อขยายอัตราการผลิต หรืออีกนัยหนึ่งคือหาวิธีการที่ทำให้สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีอย่างคุ้มค่า และเหมาะสม

ข้อได้เปรียบของการนำเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเครื่องเรือนจากไม้ยางพารา คือ ประการแรกสามารถตั้งโปรแกรมให้เครื่องจักรผลิตสินค้าได้หลายรูปแบบภายในระยะเวลาอันสั้น ประการที่สองเครื่องจักรกลสามารถผลิตงานที่ซ้ำได้ตลอด โดยที่มีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน อย่างไรก็ตามเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีข้อเสียเปรียบในเรื่องของราคา การบำรุงรักษาซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ราคาของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ ความแม่นยำและความเที่ยงตรง แต่การลงทุนดังกล่าวถือว่าเป็นการลงทุนที่สูงมาก จึงจำเป็นต้องทราบถึงการใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างถูกต้องเพื่อให้คุ้มค่า และสร้างกำไรในการดำเนินการอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปไม้ยางพารา เช่น อัตราการป้อน ความเร็วการกัดของใบมีด และความลึกในการกัด ซึ่งในปัจจุบันเงื่อนไขเหล่านี้สำคัญความชำนาญของพนักงานเป็นหลัก เนื่องจากไม่มีตารางการผลิตสำหรับไม้ยางพาราที่ได้รับการศึกษาค้นคว้าตามหลักวิชาการดังเช่นในงานโลหะ ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปไม้ยางพารา จึงจำเป็นต้องยิ่งที่จะต้องศึกษาวิจัย การหาตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีในหัตถกรรมไม้ยางพาราอย่างจริงจัง เพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานวิจัยที่มีผลประโยชน์ทางวิชาการและเชิงปฏิบัติ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

ในการกัดไม้ยางพาราเพื่อที่จะทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะเครื่องเรือน กระบวนการที่สำคัญ และใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือ กระบวนการกัด โดยการใช้มีดกัดที่เรียกกันว่า เราเตอร์ (Router) ผิวที่ได้จากกระบวนการกัดดังกล่าว จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้า

กำหนดเงื่อนไขของการกัดไม่ดีพอ จะทำให้สูญเสียเวลาอันเปล่าประโยชน์เพิ่มมากขึ้นในการที่จะทำ
ให้ผิวที่ผ่านการกัดนั้นไปทำการขัดตกแต่งผิวเพื่อให้ได้ผิวเรียบและสวยงาม ช่างยังทำให้ค่าใช้จ่าย
เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อราคาค่าต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์สูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น
และในบางกรณียังทำให้ชิ้นงานเสียไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการฉีกขาดที่ผิวทำให้เกิด
รอยลึกเข้าไปในเนื้อไม้หรือชิ้นงาน ส่งผลทำให้สูญเสียทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า ซึ่งทรัพยากรไม้อย่างพาราไนท์มีปริมาณน้อยลงไปทุกที ดังนั้นในงานวิจัยชุดนี้จะทำการวิเคราะห์กระบวนการกัดเป็นหลัก ซึ่งจะศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการกัดไม้พาราไนท์ ด้วยใบมีดชนิดเพชรหลายผลึกและชนิดทังสเตนคาร์ไบด์ ทั้งแบบเชื่อมติดและแบบถอดเปลี่ยนได้ ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้พาราไนท์โดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วในการกัด อัตราการป้อนกัด ทิศทางการป้อนกัดเทียบกับทิศทางเส้นไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และมุมตัดเฉือนและเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาเงื่อนไขในการแปรรูปไม้พาราไนท์ที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดดุลยภาพระหว่าง คุณภาพผิวของชิ้นงาน อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด และอัตราการผลิต
2. เพื่อจัดสร้างตารางเกี่ยวกับค่าตัวแปรที่เหมาะสมของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของคุณภาพผิวชิ้นงานที่ทำจากไม้พาราไนท์ อัตราการผลิต และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดกับเงื่อนไขต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองไว้ทั้งหมด 189 ชุดการทดลอง (ไม่รวมการทดลองเรื่องการศึกษาศักดิ์สิทธิ์) โดยแบ่งเป็นการทดลองโดยใช้มีดกัดทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide: TC) ทั้งหมด 180 ชุดการทดลอง และ มีดกัดเพชรหลายผลึก (Polycrystal Diamond: PCD) 9 ชุดการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ลักษณะของการกัด

- กัดขนานเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Downcut)
- กัดขนานเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Upcut)
- กัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Across Grain, Downcut)
- กัดขวางเส้นไม้ และทิศทางสวนการป้อนกัด (Across Grain, Upcut)

1.3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

1.3.2.1 กรณีใบมีดกัดชนิดเพชรหลายผลึก (PCD)

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 15,000 18,000 และ 21,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 8 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร และระยะการกินลึก 10 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

1.3.2.2 กรณีใบมีดกัดชนิดทั้งเสตนคาร์ไบด์ (TC) แบบเชื่อมติด

ก) คมตัดแบบตรง (Straight)

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

ข) คมตัดแบบรูปร่าง (Profile)

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

1.3.2.3 มุมตัดเฉือน (Inclination Angle) และ เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter of Tools: D)

- ศึกษากรณีใช้ใบมีดมีมุมตัดเฉือน และไม่มีมุมตัดเฉือน
- ศึกษากรณีเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 22 และ 26 มิลลิเมตร
- โดยกำหนด ความเร็วตัด 1020 เมตรต่อนาที (Cutting Speed) และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

1.3.2.4 กรณีใบมีดกัดชนิดทั้งเสตนคาร์ไบด์ แบบถอดเปลี่ยนได้

ก) คมตัดแบบตรง

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

ข) คมตัดแบบรูปร่าง

- ศึกษาผลของความเร็วรอบที่ 8,000 10,000 12,000 13,100 14,000 และ 14,700 รอบต่อนาที ที่ อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที
- โดยกำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 22 มิลลิเมตร, ไม่มีมุมตัดเฉือน และระยะการกิน ลึก 3 มิลลิเมตร (เป็นระยะที่ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม)

1.3.2.5 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดตัด

- ศึกษาระยะการตัด 200, 400, 700 และ 1000 เมตร (แล้วจะนำไปวัดขนาดการสึกหรอ ด้านข้างของคมตัด วัดความเรียบผิวที่เป็นผลมาจากการสึกหรอของใบมีด และวัดกระแสไฟฟ้าขณะ ทำการตัด
- โดยกำหนด อัตราการป้อนตัดเท่ากับ 9 เมตรต่อนาที และความเร็วรอบเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที ในการตัดโดยใช้ใบมีดคมตัดตรงแบบเชื่อมติด และทำการตัดตัดตามทิศทางการป้อน

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของเนื้อไม้ [2]

คุณสมบัติของไม้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการแปรรูปไม้ไม่ว่าจะเป็นแรงที่ใช้ในการกัดไม้ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ การสึกหรอของใบมีด ความเรียบผิวของไม้หลังการแปรรูป และอื่นๆ แต่ไม้มีคุณสมบัติที่ซับซ้อนเนื่องจากการเจริญเติบโตของไม้เป็นไปตามสภาวะอากาศ สภาพภูมิประเทศ และสภาพดิน ที่ไม้ชนิดนั้นเจริญเติบโตมา ชนิดของไม้ก็ทำให้ไม้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ดังนั้นสมบัติของเนื้อไม้สามารถแยกได้เป็น

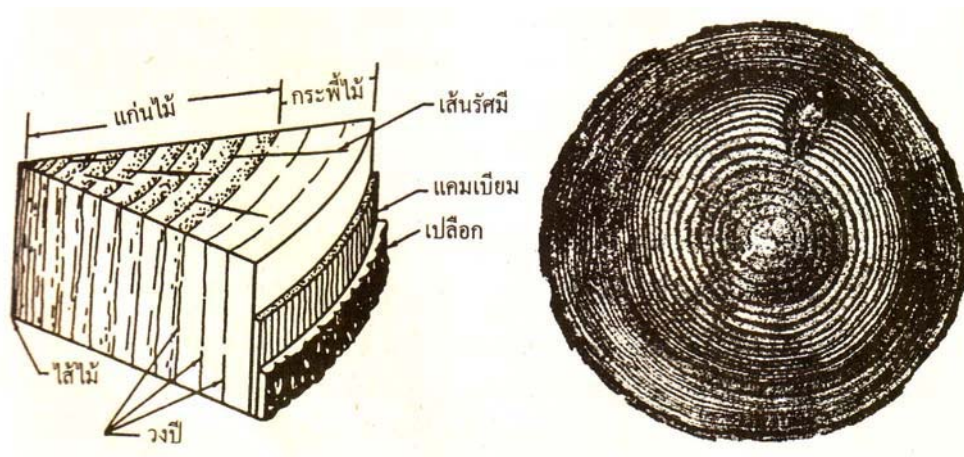
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ความถ่วงจำเพาะของไม้สูง ทำให้พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปมากกว่าไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ
- ความชื้นในไม้ (Moisture content) ไม้ที่มีความชื้นสูงจะมีความแข็งแรงต่ำกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำ โดยผลจากแรงดันของน้ำในไม้ ทำให้แรงในการกัดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ และส่งผลต่อคุณภาพผิวที่ได้หลังการกัด
- อายุ เนื้อไม้อายุมาก จะมีความแข็งแรงมากกว่าไม้อายุน้อย
- สภาพการเจริญเติบโต เนื้อไม้ที่มีการเจริญเติบโตเร็วจะแข็งแรงกว่าเนื้อไม้ที่มีการเจริญเติบโตช้า
- ตำแหน่งเนื้อไม้ ส่วนโคนลำต้นมีความแข็งแรงสูง เนื้อไม้บริเวณตาไม้มีรูปแบบของเส้นไม้ไม่แน่นอน

2.1.1 ผลกระทบของเนื้อไม้ที่มีต่อใบมีดกัด

เนื้อไม้มีความซับซ้อนซึ่งมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอน น้ำ และต่อลำเลียงอาหาร ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้เป็นส่วนที่นำสารอาหารจากดินเข้าสู่เนื้อเยื่อของต้นไม้ และถูกส่งผ่านไปยังเซลล์ ซึ่งความแตกต่างของการดูดซับสารอาหารของไม้ที่ต่างชนิดกันก็จะต่างกันออกไป ทำให้สมบัติทางกายภาพของไม้แต่ละชนิดต่างกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ยังส่งผลต่อการสึกหรอของใบมีดกัดที่แตกต่างกันออกไปในของไม้แต่ละชนิด

2.1.2 โครงสร้างไม้ [15]

การศึกษาเรื่องการกัดไม้จำเป็นต้องรู้โครงสร้างและสภาพการเจริญเติบโตของไม้ เพื่อให้สามารถเลือกสภาวะการกัดไม้ได้อย่างเหมาะสม ต้นไม้ต้นหนึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไม้ [15]

2.1.2.1 ใส้ไม้ (Pith) ได้แก่ ส่วนที่เป็นศูนย์กลางลำต้น เกิดจากเนื้อเยื่อหรือลำต้นอ่อน เป็นระยะที่ต้นไม้เจริญเติบโตในระยะแรกๆ เมื่อเติบโตขึ้น เนื้อไม้ส่วนที่เกิดขึ้นภายหลังได้ห่อหุ้มทำให้ส่วนนี้อยู่ภายในลำต้น

2.1.2.2 แก่นไม้ (Heartwood) เป็นเนื้อเยื่อซึ่งเกิดจากกลุ่มเซลล์ต่างๆ เป็นส่วนที่อยู่ถัดออกมาจากใส้ไม้ เป็นส่วนที่เกิดจากกลุ่มเซลล์ที่ตายแล้ว (Prosenchyma) หลังจากกลุ่มเซลล์เจริญเติบโตเต็มที่

2.1.2.3 กระจังไม้ (Sapwood) เป็นส่วนที่อยู่ถัดมาจากแก่นไม้ กระจังไม้จะกลายเป็นแก่นไม้หรือเนื้อไม้เมื่อกลุ่มเซลล์ที่อยู่ในส่วนที่เป็นกระจังนี้ตายลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการเจริญเติบโตของไม้แต่ละต้น หรือแต่ละชนิดของไม้

2.1.2.4 เปลือกไม้ (Bark) เป็นส่วนที่อยู่ภายนอกลำต้นหุ้มส่วนต่างๆ ภายในลำต้น-กิ่งไม้ และเป็นส่วนที่ทำให้ต้นไม้เจริญเติบโตอยู่ได้ เป็นส่วนหุ้มท่อเซลล์ที่เรียกว่า โพลเอ็ม (Phloem) ซึ่งเป็นท่อส่งอาหารไปเลี้ยงต้นไม้ ซึ่งอยู่ด้านในเปลือกไม้

2.1.2.5 วงเติบโตหรือวงรอบปี (Growth Ring) แสดงถึงการเจริญเติบโตของต้นไม้ ซึ่งลักษณะของเนื้อไม้แตกต่างกันในแต่ละฤดู ในฤดูร้อนความแข็งของเนื้อไม้มีมากกว่าในฤดูฝน ซึ่งความแข็งในส่วนนี้จะมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปตกแต่งและคุณภาพผิวไม้ที่ได้หลังการแปรรูป

2.1.2.6 ท่อลำเลียงอาหาร (Vessel) มีลักษณะเป็นท่อส่งอาหารขนาดเล็กในบริเวณรอบนอกของเนื้อไม้ ซึ่งเมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นส่วนของท่อส่งอาหารนี้จะเปลี่ยนเป็นส่วนของเนื้อไม้ต่อไป ซึ่งถ้าท่อส่งอาหารมีขนาดใหญ่ลักษณะเกรนของเนื้อไม้จะหยาบ

2.1.2.7 ผนังเซลล์ไม้ (Fiber) เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ที่จะบ่งบอกถึงตำแหน่งเส้น

2.1.2.8 เส้นรัศมีเนื้อไม้ (Wood Ray) เป็นเส้นเล็กๆ วิ่งผ่านใจกลางหรือบริเวณไส้ไม้ไปยังเปลือกไม้ เส้นรัศมีเกิดจากกลุ่มเซลล์ที่ทอดตัวตามแนวขวางลำต้น เป็นช่องทางสำหรับลำเลียงและสะสมอาหาร และเป็นส่วนช่วยยึดโครงสร้างไม้ มักจะทำให้เกิดปัญหาการแตกบริเวณในแนวรัศมีได้เมื่อมีการขึ้นรูปไม้

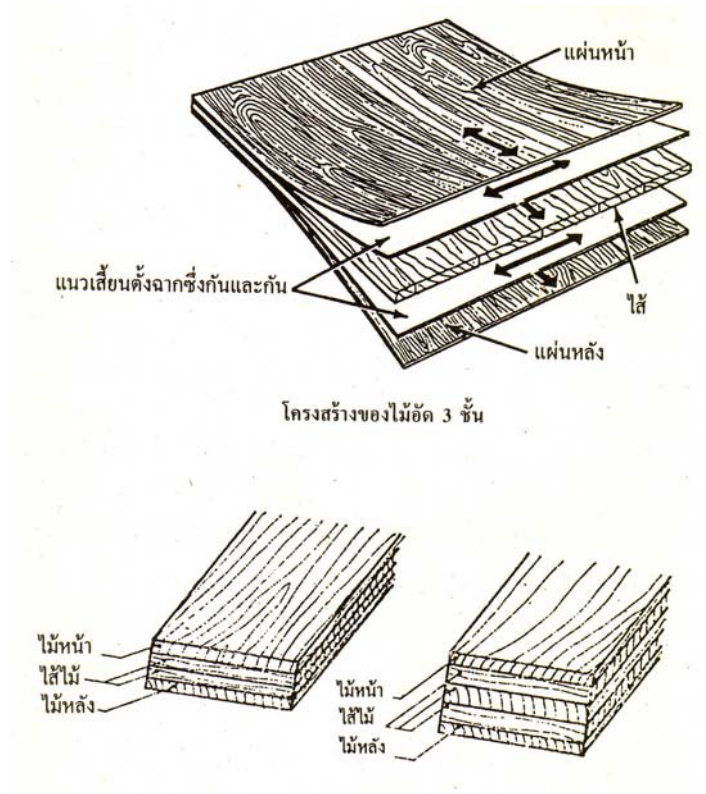
2.1.2.9 สารเคมีในไม้ เช่น ยาง , น้ำมันและ ซิลิกา มีผลต่อการสีกร่อนที่คมมีด

ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นไม้จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของภูมิประเทศ และเป็นไปตามกฎธรรมชาติ ต้นไม้ทุกต้นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันบางส่วนเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วต้นไม้จะไม่มีส่วนที่เหมือนกันหมดทั้งต้น การที่ต้นไม้มีความแตกต่างกันนี้ทำให้ต้นไม้เป็นวัสดุที่มีความซับซ้อน

2.1.3 ชนิดของไม้ [15]

2.1.3.1 ไม้จริง (Solid Wood) เป็นไม้ที่มาจากการแปรรูปจากต้นไม้

2.1.3.2 ไม้อัด (Plywood) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาไม้แผ่นบางๆ ซึ่งได้จากการปอกหรือฝานด้วยเครื่องจักรมาทับซ้อนกันตามหลักและวิธีการผลิต โดยนำแผ่นไม้บางมาอัดให้ติดกันโดยใช้กาวเป็นวัตถุดิบ โดยมีไม้วีเนียร์ (Veneer) มาอัดโดยการวางวางเส้นวางตัดกัน ไม้ไม่ดีมีคุณภาพต่ำแทรกสลับวางเส้นไว้ภายใน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำไม้อัด [15]

2.1.3.3 แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard; MDF) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเศษไม้มาทำการย่อยให้เป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใยโดยใช้เครื่อง นำเศษไม้ที่ย่อยแล้วมาผสมกัน โดยใช้ตัวเชื่อมประสานและทำการกดอัดด้วยความร้อนให้เป็นแผ่นไม้ โดยมีไม้อัดปิดด้านหน้าและด้านหลัง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง [20]

2.2 พื้นฐานงานระบบซีเอ็นซี [16]

แนวโน้มการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม และการแข่งขันในกันในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องการกระบวนการผลิตอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เป็นผลทำให้ต้องการด้านระบบการผลิต ระบบซีเอ็นซีเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีการพัฒนาและมีความก้าวหน้าไปมาก ทั้งในทางด้านความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูล การแสดงผลกราฟฟิค และความยืดหยุ่นในการผลิตชิ้นงานตลอดจนการเลือกใช้เครื่องมือ ในระยะยาวความสำเร็จของกระบวนการผลิตที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่นี้จะได้ผลดี และมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.2.1 ความหมายของเครื่องเอ็นซีและซีเอ็นซี

เอ็นซี (NC) ย่อมาจาก Numerical Control หมายถึง การควบคุมเครื่องจักรด้วยระบบตัวเลข และตัวอักษร ซึ่งคำจำกัดความนี้ได้มาจากประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่างๆตลอดจนการทำงานอื่นๆของเครื่องจักรจะถูกควบคุมด้วยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์อื่นๆ ซึ่งถูกแปลงเป็นคลื่นสัญญาณ (Pulse) ของกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณออกอื่น ที่จะกระตุ้นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆเพื่อให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ

ซีเอ็นซี (CNC) ย่อมาจากคำว่า (Computerized Numerical Control) ระบบควบคุมเอ็นซีแบบนี้จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงเพิ่มเข้าไปในระบบ ทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเอ็นซี และประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล ในปัจจุบันเครื่องจักรกลเอ็นซีส่วนมากจะหมายถึง เครื่องซีเอ็นซีทั้งนี้เพราะว่า ระบบซีเอ็นซีที่ไม่มีคอมพิวเตอร์เป็นส่วนประกอบมักไม่นิยมสร้างไว้ใช้แล้ว เนื่องจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างถูก ดังนั้นราคาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ที่เพิ่มมาเกือบจะไม่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อเทียบกับราคาเครื่องจักรทั้งเครื่อง

2.2.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกลซีเอ็นซีกับเครื่องจักรกลทั่วไป

เครื่องจักรกลทั่วไปแทนเลือนทำหน้าที่นำชิ้นงานหรือเครื่องมือตัดให้เคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน โดยการหมุนด้วยมือ หรือโดยกลไกป้อนอัตโนมัติ เช่นถูกเบี่ยงในเครื่องกลึงอัตโนมัติ ซึ่งในขณะเดียวกันช่างควบคุมเครื่องจะต้องปฏิบัติหน้าที่อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดสินใจชิ้นงานนั้นๆ ด้วย เช่น เปิดและปิดสวิตช์ควบคุมการหมุนของเพลาคั่วเครื่อง เปลี่ยนอัตราการป้อนและความเร็วรอบ เปิดและปิดสวิตช์สารหล่อเย็นเป็นต้น ในการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆเหล่านี้ ช่างควบคุมเครื่องจะต้องใช้ทั้งวิจารณญาณและการตัดสินใจร่วมกัน การตัดสินใจเหล่านี้จะต้องทำซ้ำๆกันตลอดเวลาที่ทำการผลิตชิ้นงานนั้น ถึงแม้ว่าผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างแบบเดียวกันก็ตาม ส่วนเครื่องจักรกลเอ็นซีการ

เคลื่อนที่ต่างๆที่จำเป็นในการผลิตชิ้นงานจะทำงานโดยอัตโนมัติ ด้วยตัวเครื่องเองตามข้อมูลตัวเลข (Numerical Information) ที่ป้อนให้กับระบบควบคุมเครื่องจักรกลเอ็นซีในรูปแบบของรหัส (Code) ที่ระบบควบคุมเครื่องสามารถเข้าใจได้ ความแตกต่างในการใช้เครื่องกลเอ็นซี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลทั่วไปคือ การตัดสินใจในการกำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกระทำเพียงครั้งเดียว กล่าวคือจะกระทำในขั้นตอนการวางแผนและสร้างโปรแกรม สำหรับควบคุมเครื่องจักรกลเท่านั้น ต่อจากนั้นโปรแกรมก็จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล สำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการ โดยทำการผลิตซ้ำๆกันก็ครั้งก็ได้ตามความต้องการ นอกเหนือจากการทำงานซึ่งเปรียบเสมือนการวางแผนการทำงานที่ได้จัดเตรียมขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอน การป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ ตลอดจนการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้แล้วนั้น การผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องเอ็นซียังช่วยลดเวลาในการทำงานอื่นๆที่จะเป็นด้วย เช่นลดเวลาการตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน ลดเวลาการปรับตำแหน่งของชิ้นงาน ลดเวลาในการปรับเปลี่ยนความเร็วในการทำงาน เป็นต้น

2.2.3 ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี

ระบบซีเอ็นซีเป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบเอ็นซี ดังนั้นความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซีกับระบบซีเอ็นซี ก็จะอยู่ที่ความสามารถของระบบควบคุมนั้นคือคอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบซีเอ็นซีไปควบคุมเครื่องกล ความสามารถในการทำงานต่างๆจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลเอ็นซีดังนี้

1. การแสดงภาพจำลอง (Simulation) การทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าในระบบทางจอภาพ
2. ความจุของหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้นสามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก
3. การแก้ไขและลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ที่เครื่องจักรโดยตรง
4. สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้
5. ระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น
6. มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดและการส่งกำลัง
7. มีโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการคำนวณต่างๆเช่น ความเร็วรอบ อัตราการป้อน เป็นต้น

2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี เป็นเครื่องจักรกลสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง แต่ในขณะเดียวกันราคาก็สูงตามไปด้วย ดังนั้นก่อนที่จะพิจารณาจัดซื้อเครื่องจักรกลประเภทนี้มาใช้ในกระบวนการผลิต จำเป็นต้องศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องจักรกลประเภทนี้ก่อน

ข้อดีของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

1. มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือการเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น
2. ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ในระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบและอัตราการป้อนที่ใช้ในการผลิต
3. ใช้เวลาในการผลิต (Production Time) สั้นกว่า
4. สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่าย
5. การปรับตั้งเครื่องจักรกลทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ
6. หลีกเลี่ยงความจำเป็นที่ต้องใช้ช่างควบคุมที่มีทักษะ และประสบการณ์ที่สูง
7. ช่างควบคุมมีเวลาว่างจากการควบคุมเครื่อง สามารถที่จะจัดเตรียมงานอื่นๆไว้ล่วงหน้าได้
8. การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้นงาน

ข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี

1. ราคาของเครื่องจักรค่อนข้างสูง
2. การบำรุงรักษามีความซับซ้อนมาก
3. จำเป็นต้องใช้ช่างเขียนโปรแกรม (Part Programmer) ที่มีทักษะสูงและฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
4. ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ใช้ซ่อมบำรุง ไม่สามารถผลิตได้ในประเทศจำเป็นต้องสั่งซื้อหรือนำเข้าจากต่างประเทศ
5. การซ่อมบำรุงจะต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์สูงและผ่านการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
6. ราคาของเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในกระบวนการตัดเฉือน เช่น แกนเพลายึดมีดกัดมีราคาสูง
7. พื้นที่ติดตั้งเครื่องจักรจะต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และฝุ่นละออง

2.2.5 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

หลักการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป กล่าวคือ โดยพื้นฐานเบื้องต้นแล้วเครื่องจักรกลเอ็นซีก็จะทำงานผลิตชิ้นงานเหมือนเครื่องจักรกลทั่วไป ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลเอ็นซีก็จะทำงานเหมือนเครื่องกัดทั่วไปเพียงแต่ว่า ระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆแทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตามก่อนที่เครื่องจักรเอ็นซีสามารถทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่าจะทำอะไร และจะต้องบอกกล่าวเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้ นั่นคือจะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) หรือแถบแม่เหล็ก (Magnetic tape) ก็ได้ เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน แต่เนื่องจากเครื่องเอ็นซีไม่มีมือสำหรับหมุนมือหมุนให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ ดังนั้นแท่นเลื่อนต่างๆจะต้องมีมอเตอร์ป้อน

(Feed motor) ประกอบอยู่ด้วยเช่น เครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกนก็จะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว เมื่อระบบควบคุมอ่าน โปรแกรมแล้วก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อยไม่สามารถไปหมุนขับเคลื่อนมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive amplifier) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ กรณีเครื่องจักรปกติความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนของเครื่องจักรกลทั่วไป จะต้องกำหนดด้วยสายตาของผู้ควบคุมเครื่องจักร แต่ในเครื่องจักรกลซีเอ็นซีมีการออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมรู้ได้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า ระบบวัดขนาด (Measuring system) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Linear scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าวทำให้เครื่องจักรเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างและขนาดที่ต้องการได้ จากลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรทั่วไปทำให้เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซี เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ งานวัดและตรวจสอบขนาดจัดเป็นงานที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิต และโดยทั่วไปจัดเป็นงานที่ต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างมาก กล่าวคือประมาณ 30-100 % ของเวลาตัดเฉือน การวัดและการตรวจสอบมักกระทำทั้ง 3 มิติ (3D) ดังนั้นเครื่องวัดขนาดเอ็นซีส่วนใหญ่จึงมีการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและราคาถูก สามารถที่จะแข่งขันกันในตลาดผู้บริโภคนั้น จำเป็นต้องมีระดับเทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสม การใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบเอ็นซีและซีเอ็นซีเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถกระทำได้ ปัญหาที่จะอยู่ที่ว่าจะเลือกใช้เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซีได้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำอยู่ได้อย่างไรและทำอย่างไร จึงสามารถควบคุมเครื่องจักรกลนั้นให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง

2.3 วัสดุแข็งมากสำหรับทำใบมีด [16]

วัสดุแข็งมากพอจะแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้เป็น กลุ่มโลหะ และกลุ่มอโลหะ กลุ่มโลหะได้แก่พวกโลหะผสมแข็ง (Hard alloy) และพวกซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented carbides) กลุ่มอโลหะได้แก่พวกเซรามิก (Ceramics) ซึ่งอาจจะเป็นพวกออกไซด์หรือไนไตรด์ของโลหะ ในบางครั้งการแยกกลุ่มของวัสดุอาจมีปัญหาบ้างจึงมีผู้นิยามไว้เป็นวัสดุเซอเมต (Cermets) ซึ่งอยู่ระหว่างโลหะและเซรามิก การใช้มีดที่ทำด้วยวัสดุแข็งมากย่อมหาความหมายว่า สามารถปอก หรือไสเนื้องานได้หนาและเร็วขึ้น และอายุการใช้งานของใบมีดที่มีความแข็งที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.4 ทำให้ต้องมีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องจักรกล (Machine tools) และป้อมมีด (Tool holders) ขึ้นใหม่ ให้มีกำลังและ

ความแข็งแรงมากขึ้นด้วย มีดที่ทำด้วยวัสดุแข็งมากนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องจักรกลแบบเก่าที่ยังไม่ได้พัฒนา

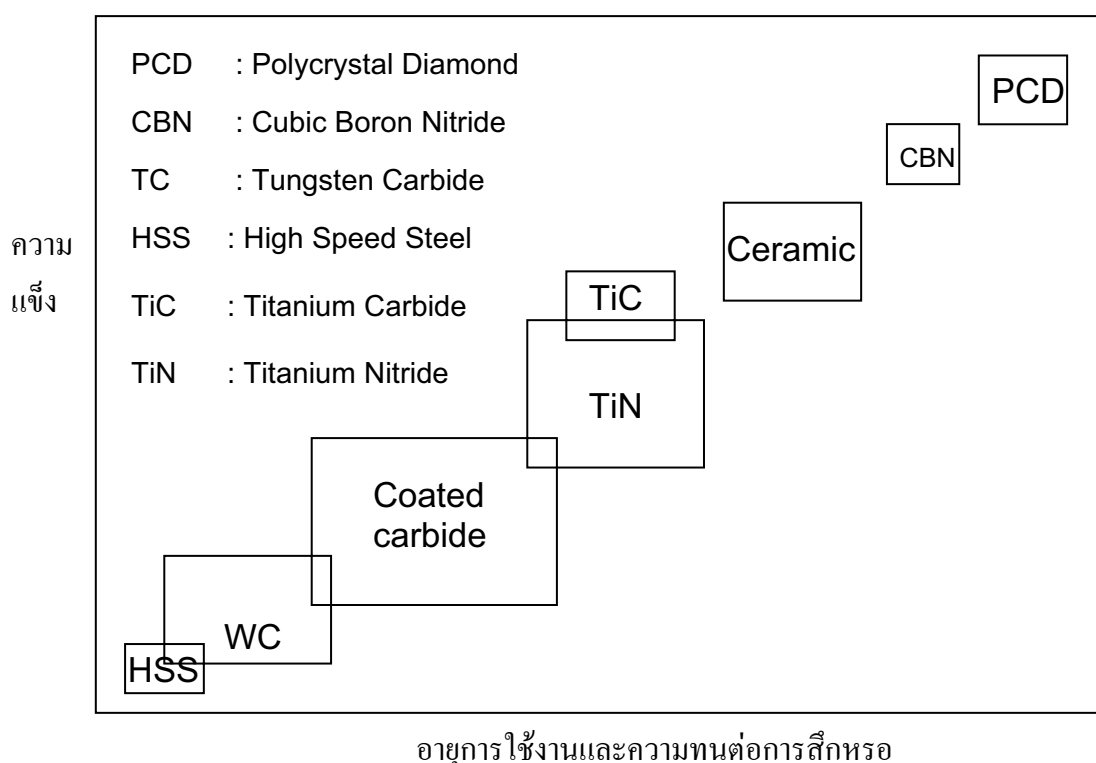
2.3.1 การแบ่งกลุ่มวัสดุแข็งมาก

ในขณะนี้ยังไม่มีมาตรฐานสากล ที่กำหนดกลุ่มวัสดุแข็งมาก เพราะยังเป็นวัสดุใหม่ ระบบการแบ่งกลุ่มวัสดุแข็งมากที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตและผู้ใช้ใช้อ้างอิงกันเสมอๆ แต่ละระบบมีข้อดีและข้อบกพร่องแตกต่างกันไป

2.3.1.1 การแบ่งกลุ่มตาม SAE J 1072 เป็นรหัสกำหนดด้วยอักษรและตัวเลข บอกวัสดุที่ใช้ทำใบมีดซึ่งประกอบด้วย

- ก. ตัวเลขระบุมาตรฐาน SAE
- ข. การกำหนดชนิดวัสดุ
- ค. ตัวอักษรกำกับท้ายคุณสมบัติเฉพาะ

2.3.1.2 ระบบ C-Grade เป็นการแบ่งกลุ่มมีด จำพวกซีเมนต์เตี๋ยคาร์ไบด์ตามลักษณะการใช้งาน การระบุชนิดของใบมีดตามระบบ C-Grade เป็นการระบุแบบหยาบๆ และไม่ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุทำใบมีด จึงดูไม่ค่อยจะให้ข้อมูลที่พอเพียงสำหรับผู้เลือกใช้ใบมีดเท่าไรนัก วิธีนี้ไม่ใช้กับมีดที่ทำด้วยวัสดุเซรามิก



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความทนต่อการสึกหรอของมีดและความแข็งแรงของวัสดุ[16]

2.3.1.3 การกำหนดวัสดุชนิดวัสดุแข็งมากตามแบบ ISO R513 เป็นการกำหนดตามลักษณะการใช้งานแบบเดียวกับแบบ C-grade แต่แบ่งย่อยให้ละเอียดกว่า

2.3.2 วัสดุที่นำมาทำไบมีด [20]

ซีเมนต์คาร์ไบด์ ผลิตโดยกรรมวิธีโลหะผง (Powder metallurgy) ซึ่งได้แก่การนำผงโลหะทนไฟผสมกับผงคาร์บอนแล้วอัดแน่นเป็นก้อน เม็ดมีความแข็งแรงพอประมาณ เมื่อนำก้อนเม็ดยัดขึ้นไปยังอุณหภูมิสูง (Sintering) ก็จะได้ก้อนเม็ดของแข็งที่มีความแข็งแรงมากในรูปซีเมนต์คาร์ไบด์ไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) เป็นคาร์ไบด์ที่แข็งที่สุด แต่มีโอกาสแตกที่ปลายมีดได้ง่ายกว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์และเซรามิก

คาร์ไบด์เคลือบ (Coated Carbide) มีดที่ทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์จะมีสมบัติทนสึกได้มากขึ้นเมื่อเคลือบด้วยสารประกอบทนสึก ซึ่งได้แก่ ไททาเนียมคาร์ไบด์ ไททาเนียมไนไตรด์ แสปเนียมไนไตรด์หรืออะลูมินา

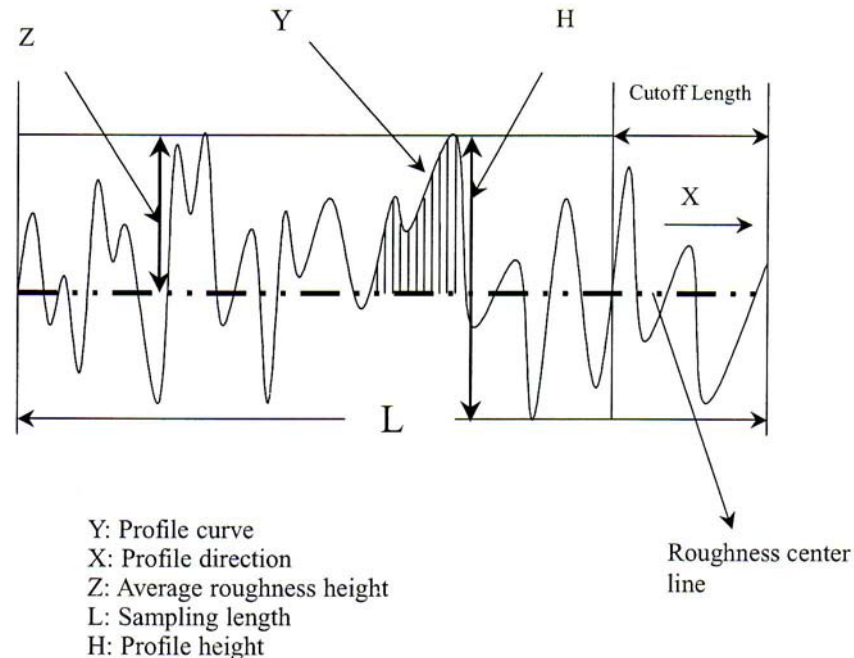
เซรามิก ไบมีดมีความแข็งแรงสูงแม้จะโดนความร้อน มีสมบัติแข็งแรงเสียดทานต่ำ ทนต่อการสึกหรอ และการนำความร้อนต่ำ แต่วัสดุเซรามิกมีสมบัติที่ค่อนข้างเปราะ จึงต้องระวังการให้ความร้อนหรือการกระแทกทันทีทันใด

เพชรแบบหลายผลึก (Polycrystal Diamond) เป็นวัสดุแข็งมากกลุ่มโลหะอีกประเภทหนึ่ง ไบมีดไม่เหมาะสมกับงานกัดวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูง แต่มีอายุการใช้งานนาน

2.4 การวัดความเรียบผิว

วัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้ผ่านการตกแต่งมาอาจจะใช้วิธีการเปรียบเทียบหรือใช้วิธีการวัดโดยตรง วิธีการเปรียบเทียบนี้เป็นวิธีที่จะตรวจสอบความเรียบผิว โดยการสังเกตหรือใช้ความรู้สึกบนผิวหนังที่ทำการตรวจสอบนั้น และการเปรียบเทียบนี้ก็อาจทำให้เกิดการอ่านที่ผิดพลาดขึ้นมาได้ ถ้าการเปรียบเทียบไม่ได้ใช้ชิ้นงานที่ทำหรือผลิตด้วยเทคนิคเดียวกัน รอยที่ปรากฏขึ้นบนผิวหนังจะขึ้นอยู่กับแบบของเครื่องมือที่ใช้ในทิศทางของการขีดข่วนหรือการตกแต่งผิวหน้า และขึ้นอยู่กับความลึกของรอยที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งรอยที่ปรากฏเหล่านี้ สามารถที่จะตรวจสอบได้โดยใช้กล้องส่องขยายดู การแตะสัมผัสเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดี ในการกำหนดความเรียบผิวของผิวชิ้นงานมากกว่าการสังเกตด้วยตาซึ่งอาจทำให้การอ่านค่าผิดพลาดได้ และการเปรียบเทียบควรใช้กับผิวหน้าที่มีการผลิตเท่านั้น

ซึ่งก็มีหลายบริษัทที่ได้สร้างชิ้นส่วนมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบความเรียบผิว ในแต่ละวิธีการผลิตหลายอย่างซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้ทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวก



รูปที่ 2.5 รูปร่างความเรียบผิว [17]

วิธีการตรวจสอบโดยตรงนั้นได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมากเพื่อให้สามารถอ่านค่าตัวเลขออกมาได้เมื่อวางบนผิวหน้าที่จะตรวจสอบความเรียบผิว ซึ่งส่วนมากจะเลือกใช้เครื่องวัดแบบใช้หัวลาก แม้ว่าวิธีการแทรกสอดจะเหมาะสมสำหรับผิวหน้าที่สะท้อนแสง

การวิเคราะห์ความเรียบผิวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีด้วยกันหลายวิธี เช่น

- ความสูงเฉลี่ย (R_a) มีค่าเท่ากับความสูงของสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งจะต้องมีพื้นที่รวมของความเรียบผิว และได้เส้นศูนย์กลาง และสามารถอธิบายในรูปสมการ

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (2.1)$$

โดยที่ $Y(x)$ คือ พื้นที่ใต้กราฟ และ L คือ ระยะทางที่ทำการวัด ดังรูปที่ 2.5

- รากที่สองเฉลี่ย (R_q) มีค่าเท่ากับรากที่สองของความสูงสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งจะต้องมีพื้นที่ยกกำลังสองรวมของความเรียบผิว และได้เส้นศูนย์กลาง และสามารถอธิบายในรูปสมการ

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (Y(x))^2 dx} \quad (2.2)$$

โดยที่ $Y(x)$ คือ พื้นที่ใต้กราฟ และ L คือ ระยะทางที่ทำการวัด ดังรูปที่ 2.5

- ความสูงจากจุดยอดถึงปลายสุด ($R_{\max}$) เท่ากับระยะของความเรียบผิวสูงสุด

2.5 ทฤษฎีการตัดเนื้องานไม้

คุณภาพของผิวจากการตัดเนื้องานขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ 1. คุณภาพของเนื้อไม้ 2. รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และ 3. เทคโนโลยีในการตัดเนื้องาน ซึ่งคุณภาพของเนื้อไม้เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ โดยธรรมชาติของเนื้อไม้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดความยาวของไม้ เช่น ตำแหน่งของตาไม้ นอกจากนี้ยังมีแนวการเรียงของแนวเส้นใยไม้ยังมีผลต่อคุณภาพผิวของงานไม้อีกด้วย ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือ รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และเทคโนโลยีในการตัดเนื้องาน ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ผิวชิ้นงานไม้คุณภาพดี และยังสามารถส่งผลถึงอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้

2.5.1 ชนิดของใบมีดกัด [2]

อุตสาหกรรมใบมีดกัดในยุโรป อเมริกา และเอเชีย มีการแข่งขันกันค่อนข้างสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ ซึ่งสามารถแยกตลาดออกได้เป็น 3 ตลาดหลักๆคือ

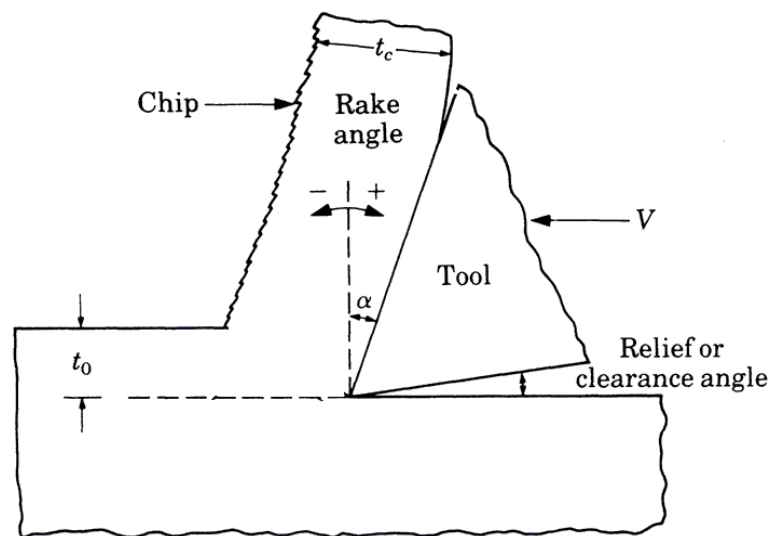
1. งานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งออกแบบเป็นรูปร่างพื้นฐานให้เหมาะสมกับงานและลักษณะงานที่ใช้เวลาอันสั้น วัสดุที่นำมาใช้ในการทำใบมีดนั้นจะเป็นแบบที่ใช้ในการผลิตไม้ธรรมชาติเท่านั้น
2. งานอุตสาหกรรมขนาดกลาง ซึ่งเป็นลักษณะงานของช่างไม้เพื่อออกแบบในการใช้เครื่องจักรขนาดกลาง ใบมีดที่ใช้ราคาไม่สูงมากนัก รูปร่างของใบมีดต้องได้รับการออกแบบอย่างดี
3. งานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เครื่องจักรที่ใช้ขนาดใหญ่และกลาง ลักษณะของใบมีดได้ออกแบบด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่และมีประสิทธิภาพในการทำกรัดที่สูง ลักษณะงานส่วนใหญ่ที่ทำเป็นแบบสายการผลิต

ใบมีดกัดในแต่ละลักษณะต้องมีการออกแบบที่เหมาะสมกับช่วงการผลิตที่เหมาะสมซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก

- ชิ้นงานต่อชั่วโมงในการผลิต
- ระยะเวลาในการลับคมมีด
- พลังงานที่ใช้ในการผลิต

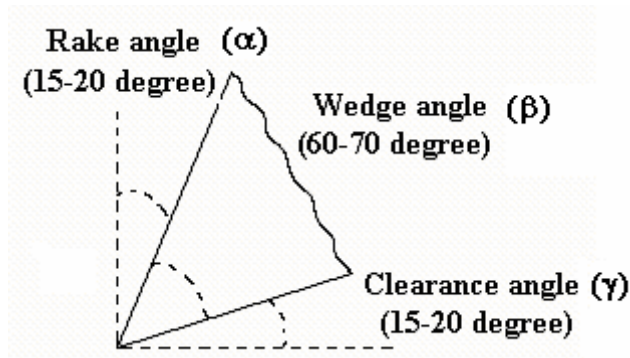
- การออกแบบวัสดุจำเพาะที่ใช้ในการกัด
- ราคาต่อหน่วยการผลิต
- ระยะความแม่นยำในการผลิต
- ราคาและชนิดของวัสดุ
- รูปร่างตามมาตรฐานและรายละเอียดของใบมีดกัด

2.5.2 รูปร่างของใบมีด



รูปที่ 2.6 รูปทรงเรขาคณิตของใบมีดกัด [11]

- มุมหน้ามีด (Rake Angle: α) คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของใบมีดกับแนวเส้นตั้งฉากของทิศทางการเคลื่อนที่ของใบมีด มีผลกระทบโดยตรงกับแรงที่ใช้ และคุณภาพของผิวงานที่ผ่านการกัด
- มุมคมตัด (Wedge Angle: β) คือมุมระหว่างผิวด้านหน้าและด้านหลังของคมมีดซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการกัดของชิ้นไม้
- มุมหลบ (Clearance Angle: γ) คือมุมระหว่างผิวด้านหลังของคมมีดกับผิวหน้าชิ้นงานบริเวณด้านหลังของมีด



รูปที่ 2.7 มุมมีมาตรฐานทั่วไปที่นำมาตัดเฉือนเนื้อไม้ [11]

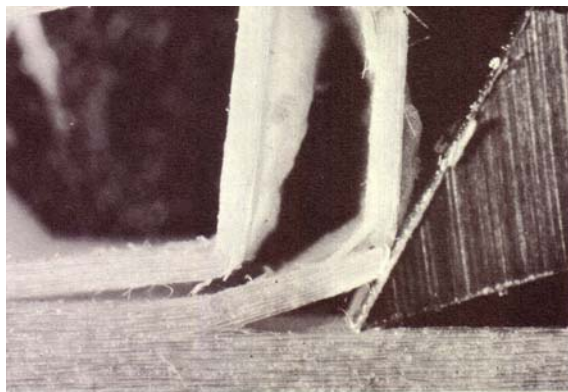
2.5.3 อิทธิพลของมุมของใบมีดในการกัดไม้

มุมมีมาตรฐานทั่วไปที่นำมาตัดเฉือนเนื้อไม้จะถูกกำหนดให้มีขนาดดังนี้ [11]

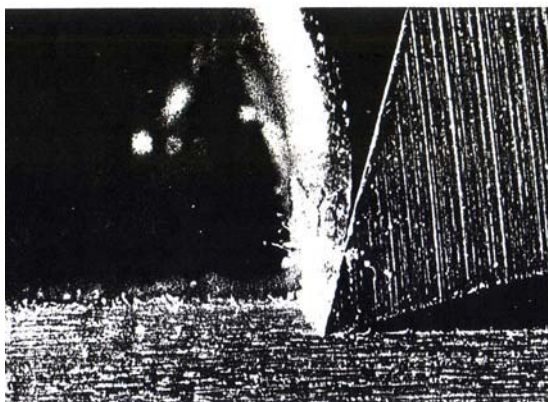
- มุมหน้ามีด (Rake Angle) $15-20^\circ$
- มุมคมตัด (Wedge Angle) $60-70^\circ$
- มุมหลบ (Clearance Angle) $15-20^\circ$

ก. ผลเนื่องจากการเปลี่ยนค่ามุม โดยผลกระทบของการเพิ่มมุมต่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8-2.10 (ไม้ที่แสดงในรูปคือ ไม้สน)

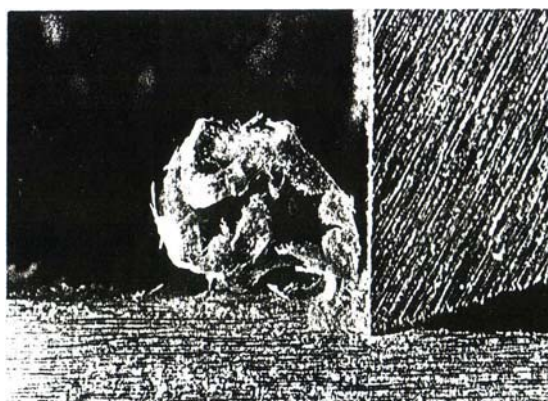
- เมื่อมุมหลบเพิ่มขึ้นทำให้แรงในการกัดลดลง แต่การฉีกของเนื้อไม้เพิ่มขึ้นและอายุของใบมีดสั้นลง
- เมื่อหน้ามีดเพิ่มขึ้นทำให้แรงในการกัด อายุใบมีด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกัดลดลง แต่คุณภาพผิวที่ได้จะดี
- เมื่อมุมคมตัดเพิ่มขึ้นทำให้คุณภาพผิวของชิ้นงานแย่ลง แต่อายุการใช้งานของใบมีดสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 เมื่อมุมหน้ามีดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกเป็นแนวจนกระทั่งเนื้อไม้เกิดการแตกหักเหนื่อคมตัด [1]



รูปที่ 2.9 เมื่อมุมคมมีด มีค่าพอดีจะให้ผิวงานที่มีคุณภาพดี และลักษณะเศษไม้ที่เกิดขึ้นจะมีความต่อเนื่อง [1]

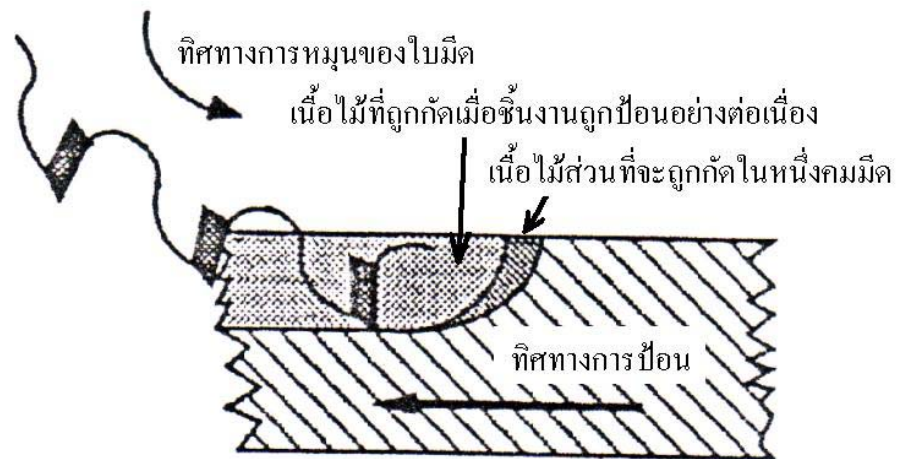


รูปที่ 2.10 เมื่อมุมคมมีดมีค่ามากเกินไป ลักษณะผิวงานที่เกิดจะมีลักษณะเป็นขุย [1]

2.5.4 รูปแบบของกระบวนการกัด

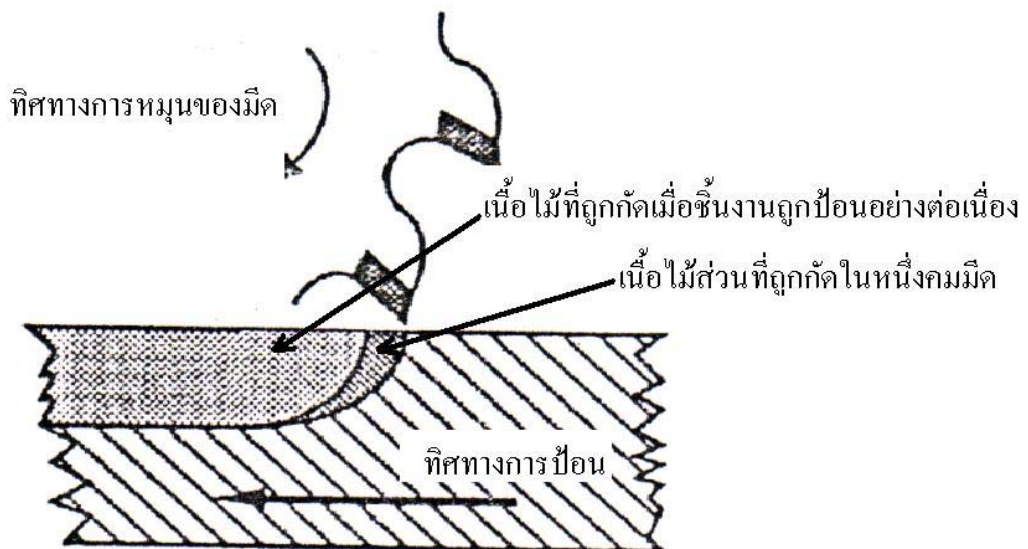
ก) การกัดไม้แบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)

1. การเกิดเศษไม้หลังการกัด เริ่มต้นให้เศษที่บางหลังจากนั้นเศษไม้จะมีความหนามากขึ้น
2. มีการใช้กำลังงานที่ใช้ในการกัดคงที่
3. การสั่นสะเทือนมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน (Downcut) เพราะว่าในแต่ละฟันของใบมีดไม่มีการกระแทกแบบทันทีทันใด
4. ในการป้อนชิ้นงานสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องจักรหรือคนป้อน



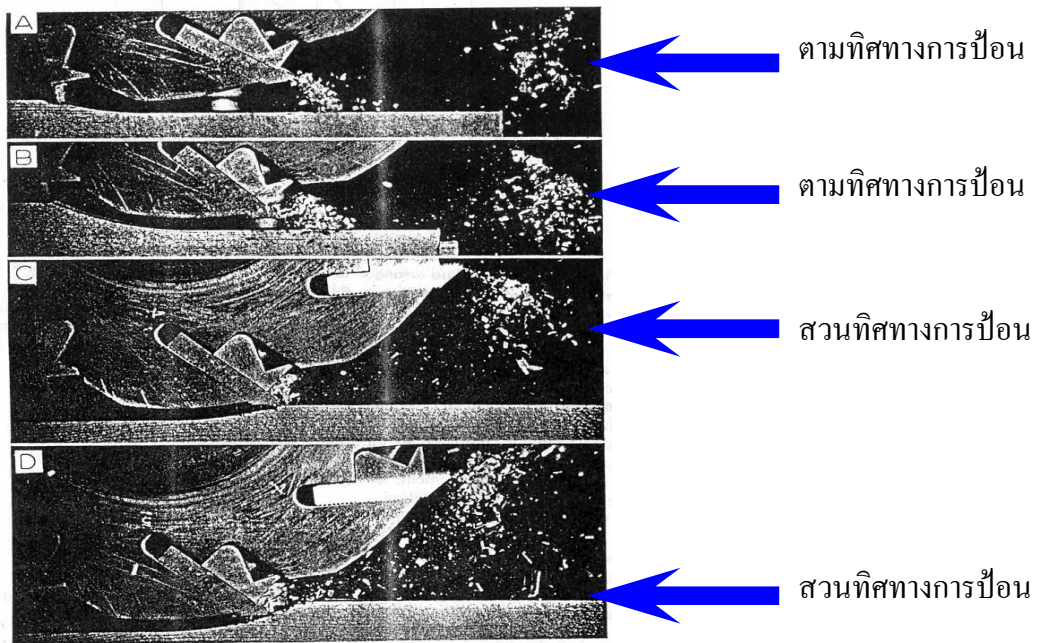
รูปที่ 2.11 การกัดไม้แบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) [2]

ข) การกัดแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut)



รูปที่ 2.12 การกัดไม้แบบกัดตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) [2]

1. เศษไม้หลังการกัดที่ได้มีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอ
2. มีการสั่นสะเทือนเวลาทำการกัดเนื่องจากมีการกระแทกของใบมีดกับเนื้อไม้
3. ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีเพราะจุดปลายของใบมีดเป็นส่วนใช้ในการตัดเฉือน
4. มีการสึกหรออย่างรวดเร็วเนื่องจากการเสียดสีของใบมีดเป็นเวลานาน
5. ในการป้อนกัดต้องใช้เครื่องจักรในการทำงานเท่านั้น

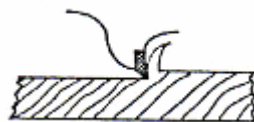


รูปที่ 2.13 เศษไม้ที่เกิดขึ้นจากการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อนที่ระยะการกินลึก $\frac{1}{2}$ นิ้ว (A และ C) และ $\frac{1}{4}$ นิ้ว (B และ D) [1]

การกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด เศษของวัสดุที่ได้จะมีขนาดที่สม่ำเสมอเนื่องจากการกัดแบบตามทิศทางการป้อนเป็นการกัดที่ก่อให้เกิดการตัดเฉือนอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนไม่เกิดการตัดเฉือนที่สมบูรณ์ เนื่องมาจากว่าลักษณะของการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนนั้น จะเกิดการรั้งของเนื้อไม้บริเวณผิวดังรูปที่ 2.13

2.5.5 ลักษณะการกัดที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน [2]

1. กัดตามแนวเส้นไม้ทำให้ใช้กำลังงานในการกัดน้อยที่สุดและให้คุณภาพผิวที่ดีที่สุด



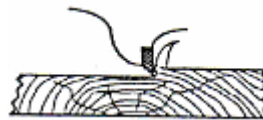
รูปที่ 2.14 การกัดไม้ตามทิศทางการป้อน [2]

2. กัดแนวขนานเส้นไม้ทำให้ใช้กำลังงานในการกัดที่น้อยและให้ความเรียบผิวที่ดี



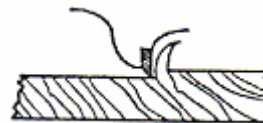
รูปที่ 2.15 การกັดไม้ขนานเส้นไม้ [2]

3. กัดขวางเส้น ไม้สามารถกัดได้ง่าย แต่ความเรียบผิวจากการกัดหยาบมาก



รูปที่ 2.16 การกັดไม้ขวางเส้นไม้ [2]

4. กัดสวนทิศทางแนวเส้นไม้ต้องใช้กำลังงานที่มากและการกัดยาก เนื่องจากแนวโน้มนมีการยกตัวของเส้นไม้และมีการบิดของเนื้อไม้และให้ความเรียบผิวที่ไม่ดี



รูปที่ 2.17 การกັดไม้สวนเส้นไม้ [2]

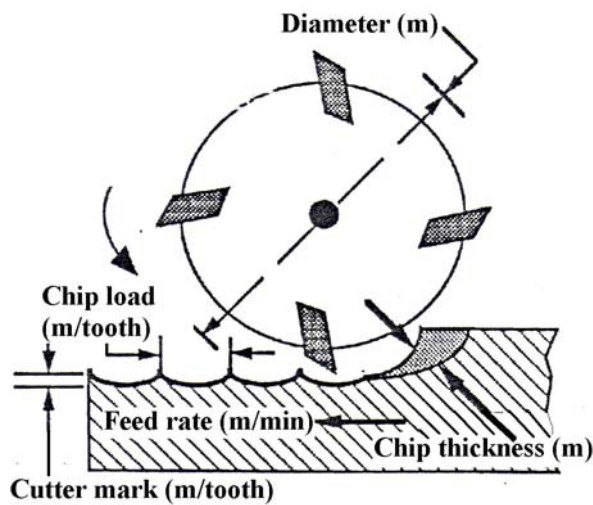
5. กัดที่แนวต่อของเส้นไม้ ก่อให้เกิดผิวที่หยาบและต้องการกำลังงานที่มากที่สุด



รูปที่ 2.18 การกັดไม้ตามรอยต่อไม้ [2]

2.5.6 ความเรียบผิวของไม้ตามทฤษฎี

1. ชิปโหลดหรือปริมาณการป้อนต่อฟัน (Chip load (F_z) or Feed per tooth) เป็นตัวบ่งบอกถึงการเคลื่อนที่ของฟันในแต่ละฟันที่นำเนื้อไม้ออกจากชิ้นงาน ซึ่งแสดงถึงความเรียบผิวจากการกັดไม้ หรือรอยใบมีดต่อความยาว (Cutter mark) แสดงในสมการที่ 2.1 และรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงการตัดเฉือนไม้ของใบมีดกัด [2]

2. รอยลึกของคมตัด (Cutter mark; t) คือระยะสูงสุดของรอยคมตัดหลังจากผ่านการกัดแล้วที่ชิ้นงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับชิปโหลด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็น สัดส่วนผกผันกับขนาดความโตของมีด แสดงในสมการที่ 2.3 และรูปที่ 2.18

3. ความเร็วในการป้อน บ่งบอกถึงความเรียบผิวเป็นส่วนสำคัญในการผลิต ซึ่งความเร็วในการป้อนกัด ต้องมีความเหมาะสมกับจำนวนฟันต่อใบมีด ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพผิวที่ได้

4. ความเร็วตัด โดยความเร็วตัดนี้อยู่ในรูปของความเร็วรอบของการหมุน และสามารถที่บอกได้ถึง ประสิทธิภาพในการกัด ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็วรอบ และอยู่ในรูป ของระยะทางของการเคลื่อนที่กับเวลา

โดยกำหนด 1. ความคลาดเคลื่อนของใบมีดระหว่างการกัดและชิ้นส่วนเครื่องจักรมีน้อยมาก

2. มีการสั่นสะเทือนน้อยมาก

$$F_z = \frac{F}{NZ} \quad (2.3)$$

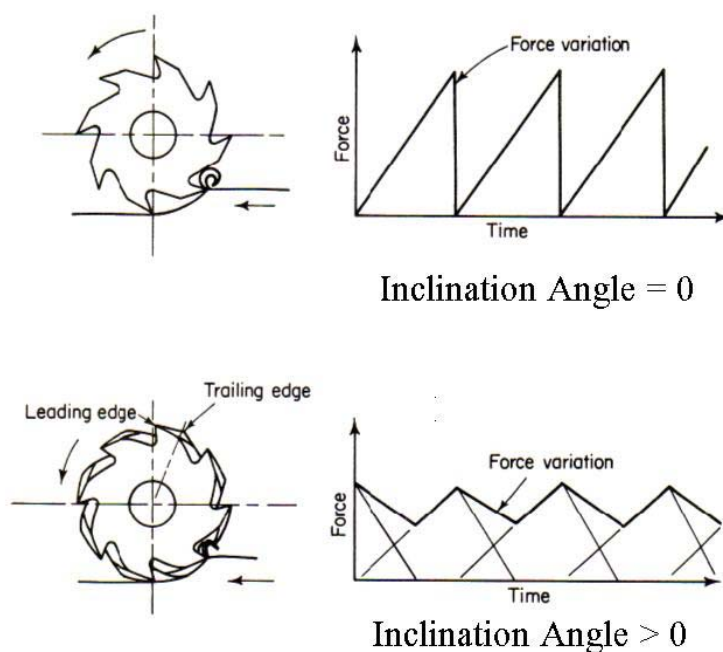
$$V = \frac{\pi DN}{1000} \rightarrow N = \frac{1000V}{\pi D} \quad (2.4)$$

$$t = \frac{F_z^2}{4D} = \frac{F^2 \pi^2 D}{(2000VZ)^2} \quad (2.5)$$

โดยที่ F = อัตราการป้อน (เมตรต่อนาที)
 N = ความเร็วรอบของใบมีด
 V = ความเร็วตัด
 Z = จำนวนคมตัดของมีด
 F_z = ชิปโหลด (เมตรต่อฟัน)
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)
 t = รอยลึกของคมตัด (เมตรต่อฟัน)

2.5.7 มุมตัดเฉือน

มุมตัดเฉือนเป็นมุมที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการกัดชิ้นงาน กล่าวคือใบมีดที่มีมุมตัดเฉือน แรงที่ใช้ในการกัดจะสม่ำเสมอทำให้มีการสั่นสะเทือนที่น้อยเวลาทำการกัดชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.20 [19]



รูปที่ 2.20 ผลกระทบของมุมตัดเฉือนต่อแรงในการกัดชิ้นงาน [19]

2.6 ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [17]

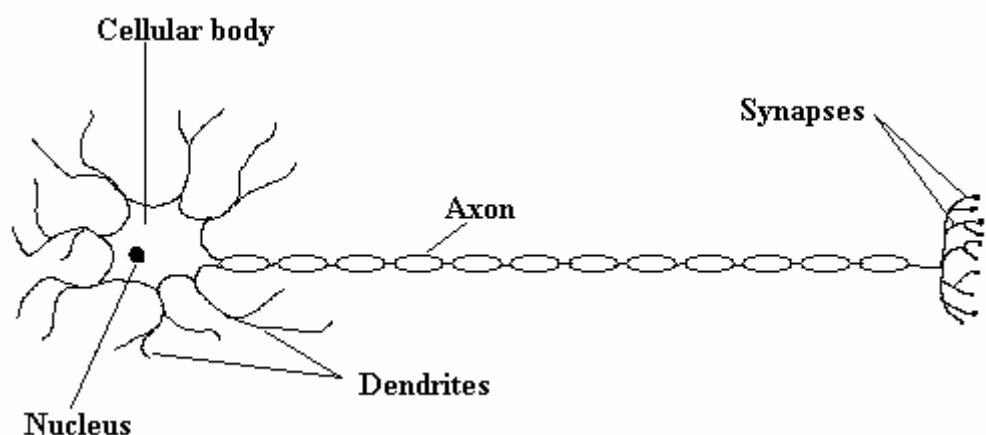
กระบวนการในการคิดคำนวณทางคอมพิวเตอร์แบบใหม่ด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent: AI) ที่กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างมากในปัจจุบันคือ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ซึ่งเป็นกระบวนการและวิธีการคำนวณที่พยายามสร้างแบบจำลองโครงสร้าง และหน้าที่การทำงานของสมองและระบบประสาทมนุษย์ เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำงานในสิ่งที่ทำไม่ได้

หรือทำยังไม่ได้พอ เช่นการอ่านหนังสือ การจัดหมวดหมู่สิ่งของ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทางสาขาชีววิทยา และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ ก็ยังไม่สามารถบรรยายละเอียดทั้งหมดของกลไกการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ได้ ส่งผลให้นักวิชาการทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์เสนอรูปแบบและวิธีการจำลองการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์มากมาย โดยเป้าหมายที่จะทำให้สามารถของแบบจำลองเหมือนการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ โดยมีเป้าหมายที่จะทำให้ความสามารถของแบบจำลองเหมือนการทำงานโดยใช้มนุษย์มากที่สุด

2.6.1 ระบบประสาทมนุษย์

ในสมองและระบบประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของระบบประสาททุกส่วนในร่างกายของมนุษย์จำนวนมากมาย แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์ (Cellular body or Soma) ซึ่งภายในมีนิวเคลียสอยู่ (Nucleus) ตัวเซลล์มีเส้นใยยื่นออกมาจำนวนหนึ่งเรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) กระจายอยู่รอบเซลล์ และมีเส้นใยเส้นหนึ่งที่ยาวที่สุดเรียกว่า แอกซอน (Axon) โดยที่ปลายของแอกซอนเชื่อมต่อกับเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทตัวอื่นที่อยู่ข้างเคียง เรียกจุดที่เชื่อมต่อนี้ว่า ไซแนปส์ (Synapse) ซึ่งเป็นช่องเล็กๆ

การทำงานของเซลล์ประสาตนั้น เกิดจากการกระตุ้นโดยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่ซับซ้อน โดยมีการสร้างสารเคมีซึ่งเหมือนเป็นสัญญาณแพร่จากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังอีกเซลล์ประสาทหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง สารเคมีที่ถูกสร้างขึ้นจะปล่อยจากแอกซอนเป็นศักย์ไฟฟ้าสูงไปต่ำ เมื่อศักย์ไฟฟ้ามีค่าที่ระดับหนึ่ง (ระดับ Threshold ค่าหนึ่ง) ศักย์ไฟฟ้ากระตุ้น (Action potential) จะถูกส่งผ่านไซแนปส์ไปยังเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทตัวถัดไปที่อยู่ข้างเคียง ไซแนปส์ที่มีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรียกว่า สถานะกระตุ้น (Excitatory) และไซแนปส์ที่มีศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า สถานะพักฟื้น (Inhibitory) กลไกที่กล่าวมานี้เป็นกลไกการทำงานพื้นฐานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์



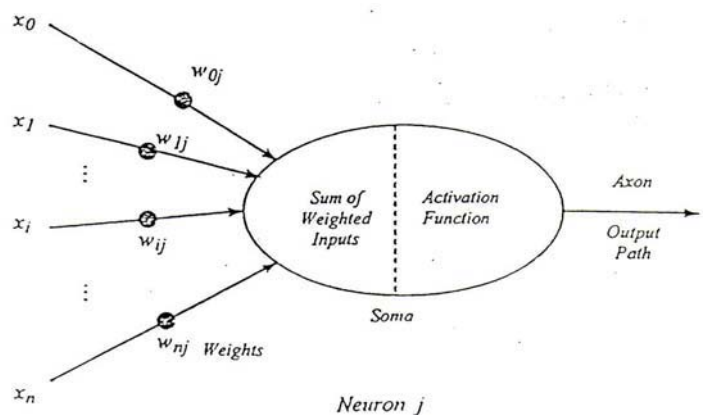
รูปที่ 2.21 เซลล์ประสาท (Neuron) [17]

สามารถสรุปการทำงานของระบบประสาทโดยมีสาระสำคัญดังนี้

1. เซลล์ประสาท เป็นหน่วยความจำพื้นฐานและเป็นอิสระ
2. อินพุตของระบบ คือ การกระตุ้นจากเซลล์ประสาทอื่นที่อยู่ข้างเคียง
3. เอาท์พุตของระบบ คือ การกระตุ้นการทำงานไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ
4. การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุต โดยการกระตุ้นของอินพุตที่เพียงพอ (ระดับ Threshold)
5. การติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาท ผ่านไปทางไซแนปส์

2.6.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model)

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นประกอบด้วยโนด (Node) หรือหน่วย (Unit) จำนวนหนึ่งเปรียบเทียบได้กับตัวเซลล์แต่ละหน่วยจะมีการเชื่อมโยงต่อกัน (Link) ทำหน้าที่เหมือนเป็นไซแนปส์ (Synapse) ในเซลล์ประสาท และแต่ละการเชื่อมต่อนี้จะมีค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยมูลฐานในการเก็บข้อมูลของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และจะต้องมีการเรียนรู้เพื่อจะปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ บางหน่วยจะมีการเชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก (External environment) ซึ่งเป็นส่วนกำหนดข้อมูลในหน่วยของอินพุต หรือหน่วยของเอาต์พุต ค่าถ่วงน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยพยายามที่จะนำค่าอินพุตและค่าเอาต์พุตแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมปรับเข้าสู่ทิศทางเดียวกับสภาพแวดล้อมของอินพุต



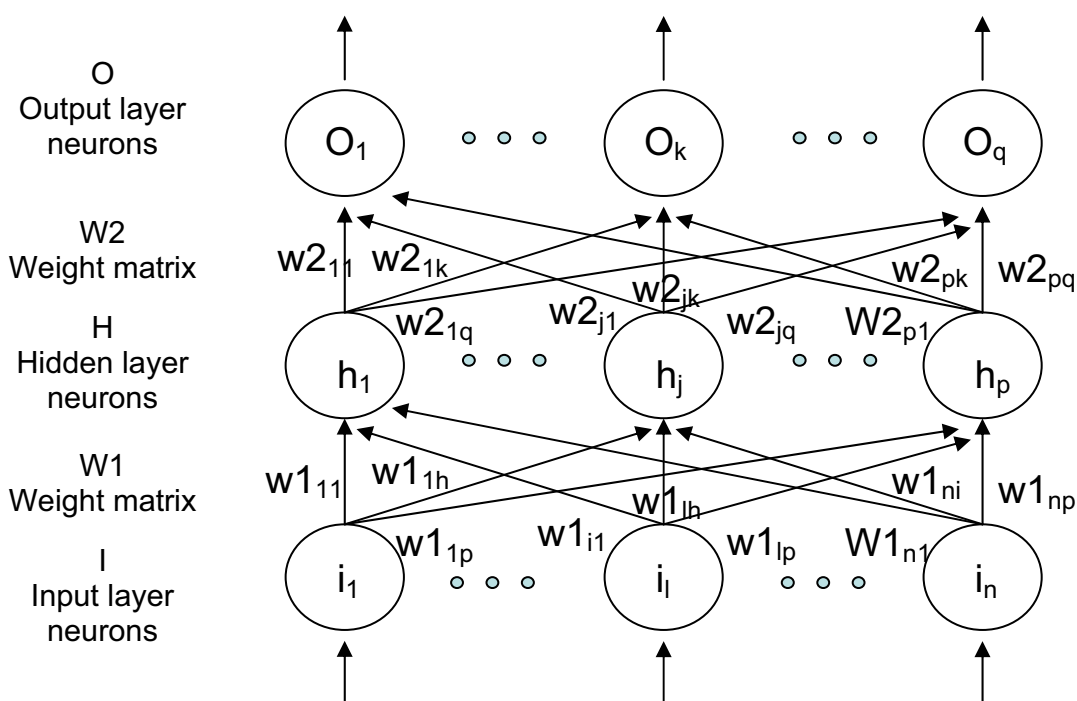
รูปที่ 2.22 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม [17]

แต่ละหน่วยของประสาทของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย อินพุตชุดหนึ่งที่จะเชื่อมต่อไปยังหน่วยอื่น เอาต์พุตชุดหนึ่งที่เชื่อมโยงมาจากหน่วยประสาทอื่น ระดับการกระตุ้น ณ สภาวะปัจจุบัน และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณระดับกระตุ้นที่ช่วงเวลาถัดไปจากค่า

อินพุต และค่าถ่วงน้ำหนัก แนวคิดในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ที่ว่าในแต่ละหน่วยประสาท จะทำการคำนวณโดยอาศัยค่าอินพุตจากหน่วยที่ข้างเคียง ในทางปฏิบัติแบบจำลองโครงข่ายประสาท เทียมส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นมาโดยซอฟต์แวร์ และการควบคุมตามเวลาในการปรับเปลี่ยนทุกหน่วยให้ เป็นลำดับที่แน่นอนการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมประยุกต์ใช้ในงานอย่างหนึ่งอย่างใด ชั้นแรก จะต้องตัดสินใจให้ได้ว่าจะต้องมีหน่วยประสาททั้งหมดเท่าไร หน่วยประสาทที่เหมาะสมนั้นเป็น อย่างไร และทำอะไรหน่วยประสาททั้งหมดจึงสามารถเชื่อมต่อกันในรูปของโครงข่ายได้ ชุด ตัวอย่างในการฝึกหัดเหล่านั้น ใช้อัลกอริธึมในการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักให้กับงาน นั้นๆ แล้วจึงใช้ชุดตัวอย่างนำมาตัดสินใจว่าจะเข้ารหัสในชุดของอินพุตและเอาต์พุตของแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมอย่างไร

2.6.3 แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model)

เป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างกว้างขวาง เป็น แบบจำลองที่ใช้หลักการเรียนรู้แบบมีการสอนเป็นสำคัญ โดยต้องมีชุดข้อมูลที่ดีพอและเหมาะสมใน การนำไปใช้ในการฝึกหัดให้กับแบบจำลอง แบบจำลองเป็นไปดังรูปที่ 2.23 แบ่งออกเป็น 3 ชั้น (Layer) ได้แก่ ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นที่ซ่อนไว้ (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer)



รูปที่ 2.23 แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model) [17]

แต่ละชั้นจะรับอินพุตจากเอาต์พุตของชั้นที่อยู่ก่อนหน้าชั้นที่ถูกซ่อนไว้ โดยจะไม่สามารถสังเกตเห็นอินพุตและเอาต์พุตได้โดยตรง เนื่องจากอินพุตของชั้นนี้ไม่ได้รับมาจากภายนอก แต่ได้มาจากเอาต์พุตของชั้นที่อยู่ก่อนหน้า และเอาต์พุตของชั้นนี้ก็ไม่ได้เป็นเอาต์พุตจริงๆที่ต้องการ แต่จะเป็นเอาต์พุตที่จะส่งอินพุตให้กับชั้นถัดไป ชั้นที่ถูกซ่อนไว้นี้จะมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา

2.7 การสึกหรอของใบมีด (Tool wear)

เนื่องจากงานไม้ไม่สามารถใช้สารหล่อลื่น หรือ สารหล่อเย็นขณะทำการกัดได้เหมือนกับในงานโลหะได้ ดังนั้นการสึกหรอของใบมีดค่อนข้างรวดเร็ว และเป็นปัญหาสำหรับกลุ่ม ผู้ประกอบการ ประสบอยู่มาก เพราะเมื่อใบมีดสึกหรอจะต้องนำไปทำการลับคมใหม่ ทำให้ต้องทำการหยุดการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ และทำการเปลี่ยนใส่ใหม่แทนที่อันเดิม เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนใบมีดกัดดังกล่าวอาจนานถึง 20 นาที ซึ่งหมายความว่าถึงการผลิตของอัตราการผลิตนั่นเอง นอกจากนี้ การนำใบมีดที่สึกหรอไปทำการลับคมใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของใบมีดที่มีรูปร่าง (Profile) ซับซ้อน หลังจากการลับคมใหม่แล้ว ปัญหาต่างๆ เช่น รูปร่างของใบมีดที่เปลี่ยน และขนาดของใบมีดที่คลาดเคลื่อนไปจากเดิม หรือ ความแม่นยำไม่ได้ดังเดิม สามารถพบได้บ่อย ดังนั้นการหาเงื่อนไขในการตัดที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสึกหรอมากเกินไป ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในกระบวนการตัด

2.7.1 ชนิดของการสึกหรอของมีดตัด

การสึกหรอสามารถแบ่งได้ตามตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอขึ้นได้ดังนี้

2.7.1.1 การสึกหรอด้านข้าง (Flank wear)

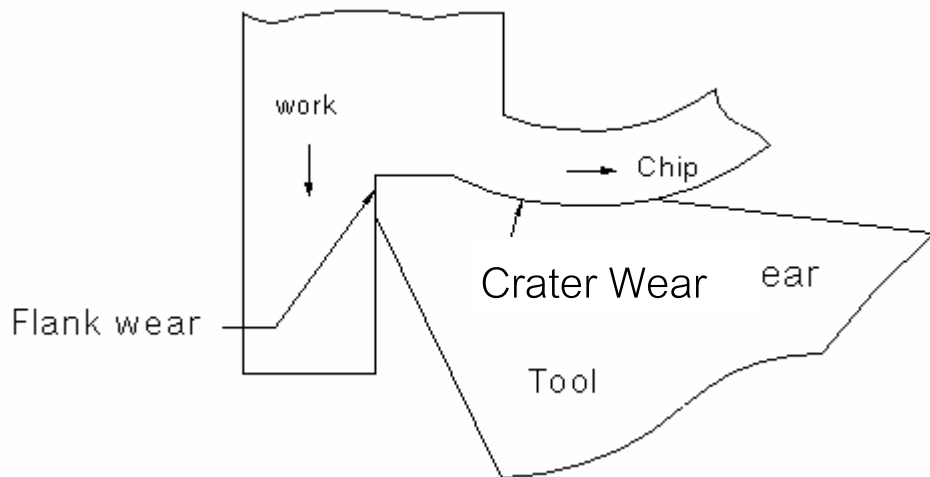
การสึกหรอด้านข้างจะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดดังแสดงในรูปที่ 2.24 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดคลึงกับวัสดุที่กำลังทำการตัดเฉือน เมื่อการสึกหรอเกิดขึ้นมากก็จะมี การขัดสีเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย

2.7.1.2 การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear)

การสึกหรอบนผิวคาย จะมีคุณลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึก เกิดใกล้ๆกับคมตัด การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไหลของเศษชิ้นงานไปบนผิวคายของมีด เมื่อการสึกหรอบนผิวคาย เกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้

2.7.1.3 การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear)

การสึกหรอที่ปลายมีดหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกับวัสดุที่กำลังตัดเฉือน การสึกหรอที่ปลายมีดบนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน



รูปที่ 2.24 ชนิดการสึกหรอบนมีดคมตัด [21]

2.7.2 อายุการใช้งานของใบมีด (Tool Life)

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่าอายุการใช้งานของใบมีดมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อต้นทุนการผลิต การวัดอายุการใช้งานของใบมีดนั้นอาจจะเริ่มนับอายุจากเวลาที่ใบมีดเพิ่งลับใหม่ จนกระทั่งถึงเวลาที่ใบมีดเสื่อมสภาพจนไม่สามารถทำการตัดโลหะให้ได้ดีตามที่ต้องการ ซึ่งใบมีดอาจจะกะเทาะหรือร้าวลงจริงๆ หรือเพียงแค่สึกหรอก็ได้ เวลาของอายุการใช้งานมักเป็นเวลาของการใช้งานจริงๆ คือเวลาของการตัดโลหะจริงๆ นอกจากจะวัดอายุการใช้งานของใบมีดในหน่วยเวลาแล้ว ยังอาจวัดเป็นหน่วยอื่นๆ เช่น จำนวนปริมาตรของวัสดุงานที่ถูกตัดออกไปก่อนใบมีดจะสิ้นสภาพ เป็นต้น

2.7.3 การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุของใบมีด (Tool life criterion)

ปัญหาข้อหนึ่งในเรื่องเกี่ยวกับอายุการใช้งานของใบมีดก็คือ ปัญหาที่ว่าเราจะเอาอะไรมาเป็นข้อบ่งบอกว่าใบมีดนั้นหมดสภาพการใช้งานแล้ว ซึ่งข้อบ่งบอกเหล่านี้จำเป็นต้องผิแตกต่างกันออกไปตามสภาวะของการตัด ลักษณะของการเสื่อมสภาพ และขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลผลิตที่ผู้ผลิตได้ตั้งไว้อีกด้วย หากจะกล่าวอย่างกว้างๆ แล้ว ข้อบ่งบอกว่าใบมีดหมดสภาพแล้วนั้นแม้จะมีอยู่มากมายก็อาจจะรวมอยู่ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือตัวใบมีดเป็นหลัก ซึ่งได้แก่ การพิจารณาสภาพของใบมีดโดยอาจถือว่าใบมีดสิ้นสภาพเมื่อ

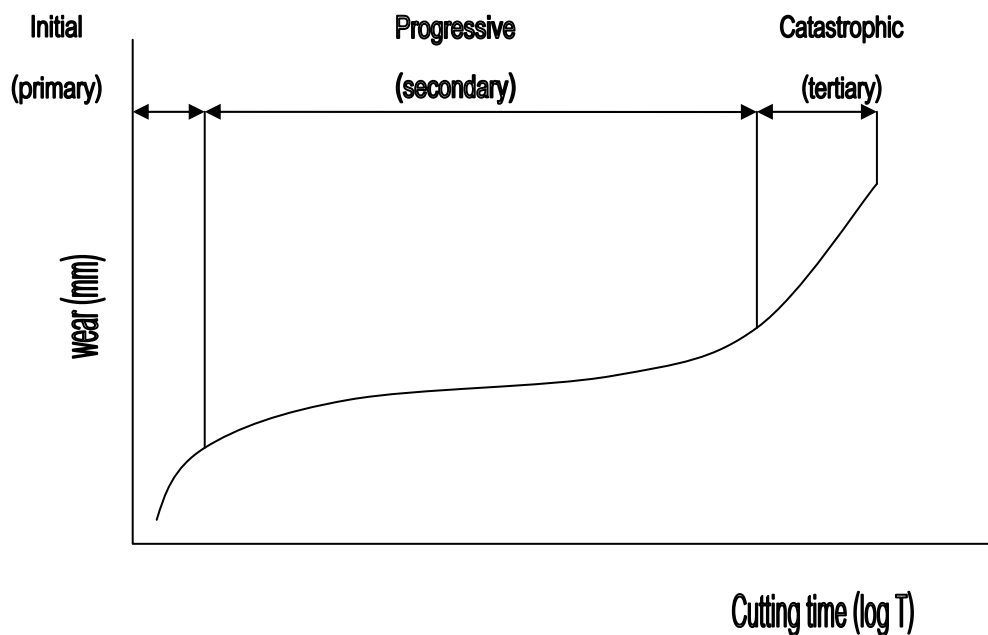
- คมมีดกะเทาะหรือร้าว
- ขนาดของการสึกหรอด้านข้างใหญ่เกินไป
- ขนาดการสึกหรอบนผิวคายสึกเกินไปหรือใหญ่เกินไป หรือกว้างเกินไป
- พิจารณาทั้งการสึกหรอด้านข้างและการสึกหรอบนผิวคายประกอบเข้าด้วยกัน
- ปริมาตรหรือน้ำหนักของเนื้อสารที่สึกออกจากใบมีดมีค่ามากเกินไป
- ใบมีดแตกหักลงจริงๆ

2. การบ่งบอกสภาพการสิ้นอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือเอาชิ้นงานเป็นหลัก เป็นต้นว่า

- ความขรุขระของพื้นผิวของชิ้นงานมีค่าสูงเกินไป
- ขนาดของชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีขนาดไม่ถูกต้องตามที่กำหนด
- แรงหรือกำลังในการตัดโลหะมีค่าสูงเกินไป

ในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการใช้ขนาดของการสึกหรอเป็นเครื่องมือในการบ่งบอก การเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพของใบมีด

เวลาในการตัดเนื้อที่มีประโยชน์แท้จริง (Effective cutting time) หรืออายุการใช้งานของ ใบมีดเป็นเวลาก่อนที่การสึกหรอของคมตัดจะมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของ คมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของใบมีด นั้นอาจจะประมาณจากขนาดของ การสึกหรอบนผิวคายหรือขนาดของการสึกหรอด้านข้างก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการ ประมาณอายุการใช้งานของใบมีดจะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่าง รวดเร็วและส่งผลให้ใบมีดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอด้านข้างในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่ามี 3 ขั้นตอนดังแสดงใน รูปที่ 2.25 คือ การสึกหรอขั้นแรก (Primary wear or Initial wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary wear or Progressive wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary wear or Catastrophic wear)



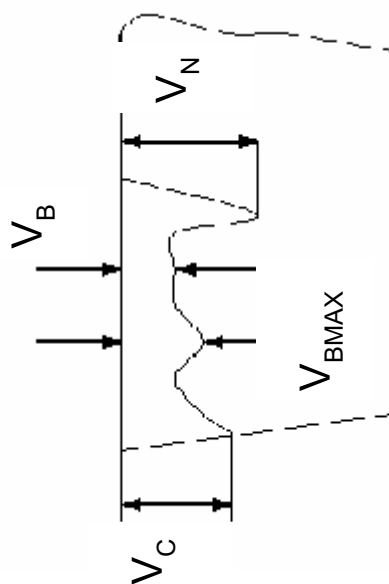
รูปที่ 2.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการพัฒนาการสึกหรอด้านข้างกับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด [21]

การสึกหรอขั้นแรก เมื่อนำมีดกลึงที่เพิ่งลับใหม่ หรือใบมีดอินเสิร์ตใหม่มาใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว จากกราฟแสดงขนาดการสึกหรอเทียบกับเวลา แสดงให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในขั้นแรกสูงมาก ซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือน และวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

การสึกหรอขั้นที่สอง การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในขั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ คือ อัตราการสึกหรอน้อยกว่าในช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่าจุดวิกฤติของการสึกหรอด้านข้างซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของใบมีด ในกรณีนี้จะสิ้นสุดเมื่อการสึกหรอด้านข้างมีขนาดมากกว่า 8 mm.

การสึกหรอขั้นที่สาม การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอขั้นสุดท้าย การสึกหรอจะเกิดขึ้นมากและรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) ของใบมีดหรืออินเสิร์ต การสูญเสียสภาพการใช้งาน นี้เกิดจากการประกอบกันของการสึกหรอด้านข้างที่มีค่าสูงกับการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่

การใช้ขนาดของการสึกหรอด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 2.26 เป็นเครื่องมือในการบ่งบอกการเสื่อมสภาพและการสิ้นสภาพของใบมีด โดยทั่วไปจะกำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพเมื่อใบมีดมีขนาดของการสึกหรอด้านข้างเฉลี่ย V_B มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 mm.



รูปที่ 2.26 การสีกหกรอบนฟวไบมิดด้านข้าง [21]

2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

เทคโนโลยีการตัดไม้เริ่มต้นในการพัฒนาอย่างจริงจังเมื่อราวปลายปี ค.ศ. 1979 โดยมีนิตยสารทางด้านเทคโนโลยีไม้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านไม้ตั้งแต่ปี 1979-1989 ไว้ดังนี้ [24] งานวิจัยที่สำคัญ เริ่มปี ค.ศ. 1979 โดย Hiram Hallock ได้ทำการศึกษาผลกระทบของรอยตัดบนไม้โดยอาศัยการพัฒนาโปรแกรมพื้นฐานของ Best opening face computer sawing program เพื่อให้ได้ปริมาณในการแปรรูปไม้ให้ได้มากที่สุด โดยโปรแกรมนี้อีกบันทึกเป็นโปรแกรมพื้นฐานของการหาจุดที่เหมาะสมในเทคโนโลยีการแปรรูปไม้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 Phil Quelch ได้ทำการศึกษาการแปรรูปไม้โดยศึกษาอัตราการป้อนตัด ความเร็วของใบเลื่อย ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ระยะการกินลึก เพื่อหาจุดที่ทำให้ประสิทธิภาพการแปรรูปไม้ดีที่สุด ต่อมาปี ค.ศ. 1981 E.W. Al Thrasher Lumber Co. ศึกษาวิธีการเพิ่มจำนวนไม้ที่แปรรูปจากไม้ซุง โดยการพัฒนาการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในการตัดไม้โดยอาศัยการควบคุมระยะเพื่อใช้ในการควบคุมสถานะการตัดไม้ให้เป็นไปตามการศึกษาของ Phil Quelch ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 Brown, Oregon State University ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมในการควบคุมคุณภาพในการแปรรูป ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 James D'A.Clark ได้ทำการคิดค้นการทำแผ่นไม้ชนิดบาง (Waferboard) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมไม้ประกอบโครงสร้าง ต่อมาในปี ค.ศ. 1988 Thomas Malony, Washington State University ได้ทำการพัฒนามาเสกไม้มาทำการขึ้นรูปในรูปของวัสดุผสมหรือเรียกอีกอย่างว่า Particleboard ต่อมาในปี ค.ศ. 1989 Forintek Canada Corporation ได้ทำการศึกษาการควบคุมความชื้นในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดไม้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1999 Palmqvist และ Gustafsson [6] ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นที่เกิดจากการตัดไม้ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง โดยใช้ไม้สามชนิด คือ ไม้สน บีช (Beech) และ แผ่นใยไม้

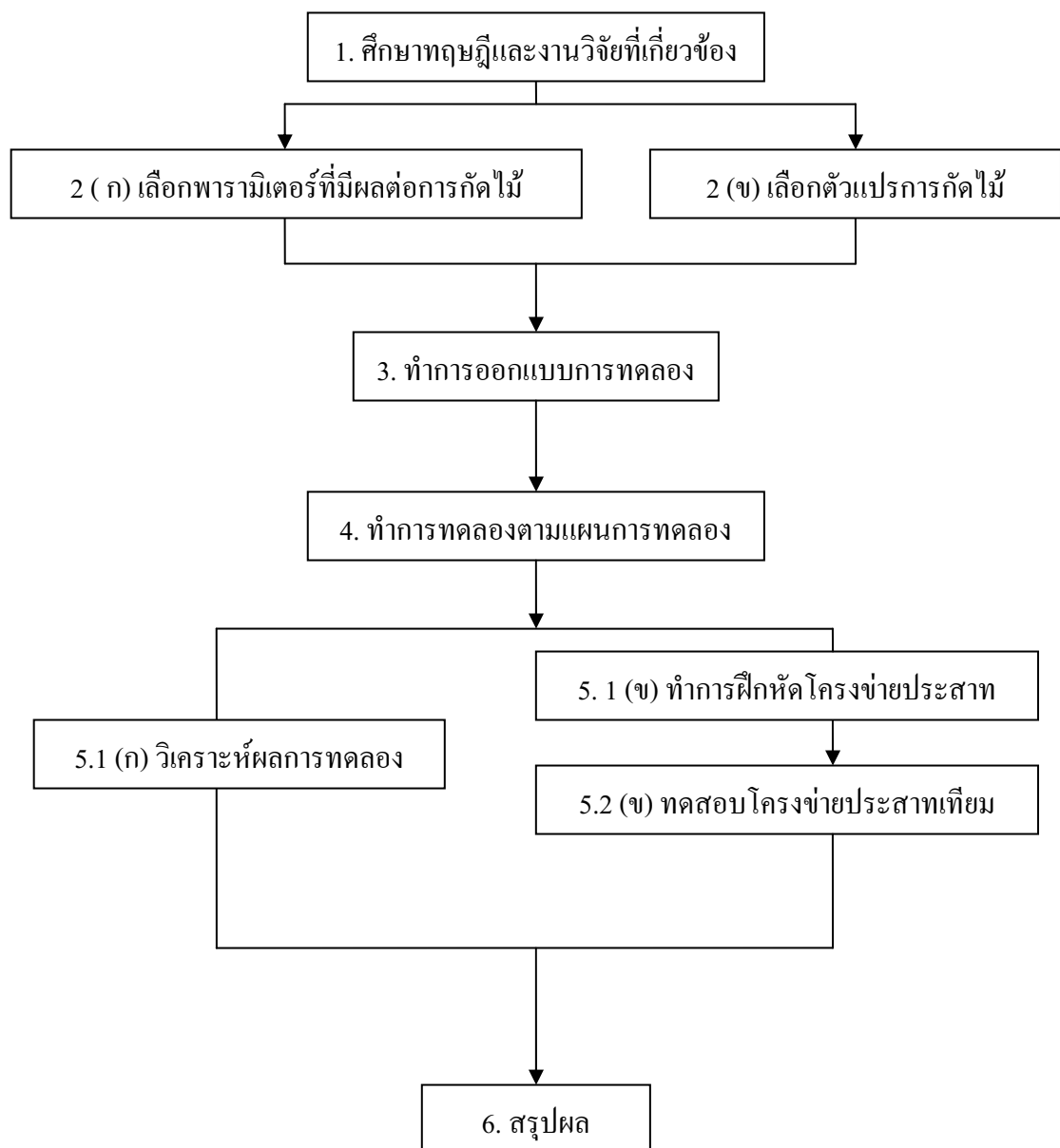
อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) โดยพารามิเตอร์คือ ความชื้น มุมคายเศษ ค่าเฉลี่ยของเศษไม้ ความเร็วตัด และทำการเก็บและวัดขนาดของเศษที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของเศษและความชื้นของเนื้อไม้ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นมากที่สุด ในส่วนของความเร็วตัดและมุมคายเศษมีผลเล็กน้อย และชนิดของไม้ที่ทำให้เกิดฝุ่นมากที่สุดคือ แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ซึ่งมากกว่าไม้ปืช ถึง 1.5 เท่าและไม้สนถึง 6 เท่า และในปีเดียวกัน Ratnasinggam และ Perkins [8] ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ในรูปของสมการที่เกี่ยวข้องในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ในส่วนต่างๆคือ วัตถุดิบ ความชำนาญของแรงงาน ใบมีดและเครื่องจักรในการทำงาน ซึ่งมีผลโดยตรงกับต้นทุนการผลิต แต่งานวิจัยที่รวบรวมมาไม่มีงานวิจัยที่ระบุถึงการหาสภาวะการกัดจากซีเอ็นซี ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 Cyra และคณะ [14] ทำการศึกษาเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมของการกัดเทียบกับแนวเส้นไม้ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อมุมตัดเฉือนมีค่าลดลงปริมาณเสียงที่เกิดขึ้นสูงขึ้นตามไปด้วย ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 Aguilera และ Martin [7] ได้ทำการศึกษารองในการกัด พลังงานที่ใช้ในการกัด ความเรียบผิวโดยใช้ไม้ปืช และไม้ตระกูลสนโดยพารามิเตอร์คือ ระยะการกินลึก 2 ค่า อัตราการป้อนกัด 6 ค่า และความเร็วรอบ 3 ค่า โดยให้ความหนาและความกว้าง ในการกัดคงที่ ผลที่ได้คือที่ระยะการกินลึกมีผลต่อแรงในการกัดไม่มากนัก แต่ลักษณะการกัดแบบตามทิศทางการป้อน (Downcut) ที่ระยะการกินลึก 5 มิลลิเมตรให้ค่าแรงในการกัดต่างกับที่ 3 มิลลิเมตรอยู่ 8.3 % และอัตราการป้อนกัดที่ 17 เมตรต่อนาที ทำให้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการกัดของไม้ตระกูลสนมากกว่าไม้ปืชอยู่ 53 % และความเรียบผิวที่ได้ขึ้นกับอัตราการป้อนกัดและระยะการกินลึก ในปีเดียวกัน Chang Xue [25] ได้ทำแบบจำลองในการทำนายความเรียบผิวในการกัดพวกโลหะ โดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับการวิเคราะห์เชิงถดถอย โดยตัวแปรที่ใช้ในการทำนายคือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนกัด ระยะการกินลึก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินใช้เพียง 2 ระดับเท่านั้นคือสูงและต่ำ ผลการทดลองค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันไม่เกิน 3 เปอร์เซนต์ ในปี ค.ศ. 2002 Heisel และ Kronendorfer [26] ได้ทำการศึกษการทำนายความเรียบผิวจากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการกัดโดยใช้ใบมีดกัด (Milling) ในการกัดไม้ จากการทดลองความเรียบผิวที่ได้ขึ้นอยู่กับการสั่นสะเทือนของใบมีด คือที่ใบมีดมีการสั่นสะเทือนมากความเรียบผิวที่ได้ไม่ดี ในทางกลับกันที่ใบมีดมีการสั่นสะเทือนน้อยให้ค่าความเรียบผิวที่ดี

จากงานวิจัยข้างต้นที่กล่าวมาเห็นได้ว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาตัวแปรโดยทั่วไป โดยไม่มีการระบุชนิดของไม้ที่แน่นอน ซึ่งไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงเนื่องจากว่าคุณสมบัติของไม้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศที่ใช้ในการปลูกไม้ ชนิดของไม้ ซึ่งงานวิจัยที่ทำนี้มีการระบุชนิดไม้ที่ใช้ในการทดลองคือ ไม้ยางพารา ซึ่งไม้ยางพารายังไม่มีงานวิจัยออกมาเนื่องจากว่าไม้

ยางพาราเพิ่งมาเป็นที่ยอมรับในการทำเฟอร์นิเจอร์กันอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบัน และยังเป็นไม้ที่เนื้อไม้ไม่แข็งแรงมาก ทำให้มีตัวแปรต่างๆตามธรรมชาติของไม้ยางพารามีความซับซ้อนมากกว่าไม้เนื้อแข็ง และจากการสำรวจเอกสารสามารถนำมาเป็นแนวทางในการวิจัยได้ จากส่วนของแรงในการกัดที่มีผลต่อระยะกินลึกคือ ถ้าระยะการกินลึกไม่แตกต่างกันมาก ค่าแรงในการกัดไม่แตกต่างกัน ส่วนรูปแบบการกัด (Upcut/Downcut) นั้นมีผลต่างกันเล็กน้อย แต่ในงานวิจัยที่จะทำการศึกษามีการเก็บข้อมูลความเร็วในการกัดและอัตราการป้อนที่ละเอียดกว่างานวิจัยทั่วไป และในส่วนของการทำงาน ความเรียบผิวจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้น มีการใช้ข้อมูลในการฝึกหัดค่อนข้างมากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา โดยสรุปงานวิจัยนี้มุ่งเน้นทางด้านความเรียบผิว อัตราการผลิต โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วรอบในการผลิต อัตราการป้อน ระยะการกินลึก ชนิดของใบมีด รูปร่างของใบมีด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด ให้มีการครอบคลุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกว้างขวางกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยทั่วไปที่มีการเก็บข้อมูลค่อนข้างน้อย

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาได้ใช้เครื่องมือต่างๆ สำหรับการเตรียมชิ้นงาน และทดลองในโรงปฏิบัติงานของ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ และเครื่องมือวัดความเรียบผิวในห้องปฏิบัติการวัดละเอียดของ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการงานการวิจัย

3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

3.1.1 กรณีใบมีดเพชรหลายผลึก

3.1.1.1 ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 15,000 18,000 และ 21,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 8 12 และ 15 เมตรต่อนาที

3.1.1.2 เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ระยะการกินลึก 10 มิลลิเมตร
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

3.1.2 กรณีใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด

3.1.2.1 แบบคมตัดตรง (Straight)

ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

ข) เงื่อนไขที่กำหนดให้คงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

3.1.2.2 แบบคมตัดรูปร่าง (Profile)

ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร

- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

3.1.3 กรณีใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้

3.1.3.1 แบบคมตัดตรง (Straight)

ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

ข) เงื่อนไขที่กำหนดให้คงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 18 มิลลิเมตร

3.1.3.2 แบบคมตัดรูปร่าง (Profile)

ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเร็วรอบ 8,000 10,000 12,000 13,100 14,000 และ 14,700 รอบต่อนาที
- อัตราการป้อน 1 2 3 6 9 12 และ 15 เมตรต่อนาที

ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ไม่มีมุมตัดเฉือน (0 องศา)
- เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 22 มิลลิเมตร

3.1.4 การศึกษาอิทธิพลของมุมตัดเฉือนและอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด

ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- มุมตัดเฉือน 0 และ 5 องศา
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 22 และ 26 มิลลิเมตร
- อัตราการป้อนกััด 3 และ 9 เมตรต่อนาที

ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- มีดแบบคมตัดรูปร่าง

- ระยะการกินลึก 3 มิลลิเมตร
- ความเร็วรอบ 18,000 14,800 และ 12,000 รอบต่อนาที โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด 18 22 และ 26 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ความเร็วตัดคงที่เท่ากับ 1,020 เมตรต่อนาที)

3.1.5 การศึกษาการสึกหรอของใบมีดตัด

ก) ตัวแปรที่ศึกษา

- ระยะการตัด 200, 400, 700 และ 1000 เมตร (แล้วจะนำไปวัดขนาดการสึกหรอด้านข้างของคมตัด วัดความเรียบผิวที่เป็นผลมาจากการสึกหรอของใบมีด และวัดกระแสไฟฟ้าขณะทำการตัด

ข) เงื่อนไขที่กำหนดคงที่

- ใบมีดคมตัดตรงแบบเชื่อมติด
- การตัดตามทิศทางการป้อน
- อัตราการป้อนกัดเท่ากับ 9 เมตรต่อนาที และความเร็วรอบเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที

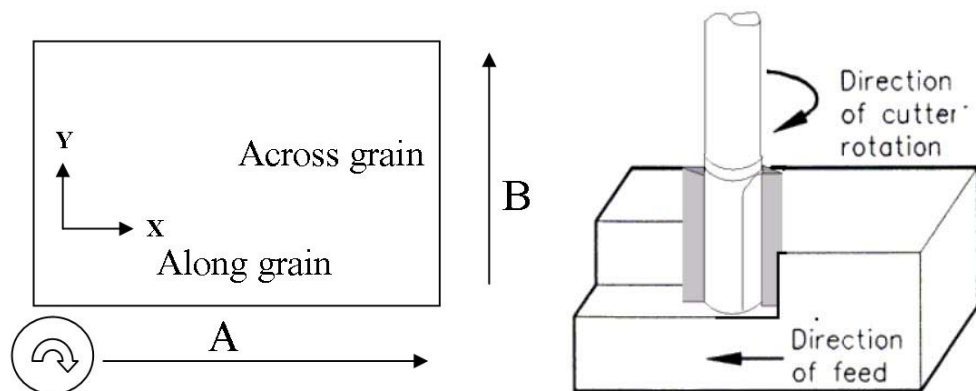
การทดลองทั้งหมดหากไม่รวมการศึกษาการสึกหรอของใบมีดตัดมีทั้งสิ้น 189 สภาวะการกัด ในแต่ละสภาวะการกัดยังแยกการกัดเป็นแบบสวนทิศทางการป้อนและตามทิศทางการป้อน และการกัดแบบตามเส้นไหมและขวางเส้นไหม ซึ่งแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยสามารถแยกสภาวะการกัดได้เป็น

1. ใบมีดเพชรหลายผลึก 9 สภาวะการกัด
2. ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด 84 สภาวะการกัด
 - คมตัดตรง 42 สภาวะการกัด
 - คมตัดรูปร่าง 42 สภาวะการกัด
3. ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้ 84 สภาวะการกัด
4. อิทธิพลของมุมตัดเฉือนและอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 12 สภาวะการกัด

หมายเหตุ การทดลองของใบมีดเพชรหลายผลึกที่ไม่ทำในสภาวะการกัดเดียวกับใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ เนื่องจากว่าสภาวะการทำงานของใบมีดทั้งสองแบบแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง คือ ใบมีดเพชรหลายผลึกต้องใช้งานที่สภาวะการกัดที่มีความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์

3.2 ลักษณะการกัดไม้

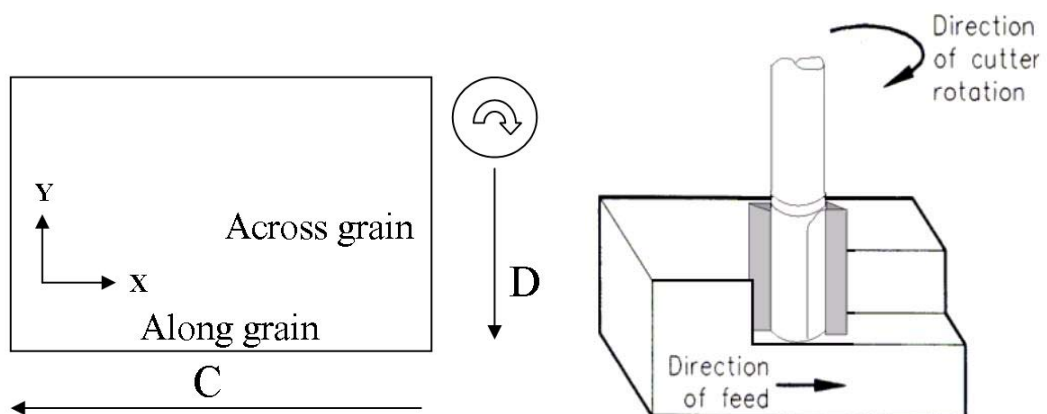
ไม้ 1 แผ่นจะทำการกัดทั้งหมด 2 ครั้ง โดยเป็นการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน 1 ครั้ง (ดังรูป 3.2) และตามทิศทางการป้อนกัดอีก 1 ครั้ง (ดังรูป 3.3) และแต่ละครั้งจะมีการกัดสองลักษณะคือ เป็นการกัดแบบขนานเส้นไม้และขวางเส้นไม้ (A B C และ D ในรูปที่ 3.2 และ 3.3)



A กรณีกัดขนานเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Upcut)

B กรณีกัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนกัด (Across Grain, Upcut)

รูปที่ 3.2 ทิศทางการกัดแบบสวนทิศทางการป้อน



C กรณีกัดขนานเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Along Grain, Downcut)

D กรณีกัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนกัด (Across Grain, Downcut)

รูปที่ 3.3 ทิศทางการกัดแบบตามทิศทางการป้อน

3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผล

3.3.1 คุณภาพผิว (Surface Integrity)

ก) ความเรียบผิว (Surface finish) สามารถวัดได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว ซึ่งอาศัยหลักการลากหัววัดความเรียบผิวบนผิวไม้ที่ต้องการทำการวัด แล้วส่งข้อมูลไปที่โปรแกรมเฉพาะของเครื่องวัด (Taylor-Hobson instrument) เพื่อประเมินผลเป็นค่าความเรียบผิวและแสดงผลในรูปกราฟกำลังสองสมบูรณ์ (Root Mean Square; Rq) และยังสามารถคำนวณโดยทฤษฎีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการวัดเครื่องวัดความเรียบผิว ซึ่งค่าจากการคำนวณอยู่ในรูปเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพผิวเพราะรอยลึกของคมตัดที่ลึกและรูปของรอยลึกของคมตัด ซึ่งบางครั้งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหรือสัมผัสด้วยมือได้

การวัดความเรียบผิวจะวัดในแนวตามยาวของชิ้นงานซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของใบมีดกัด โดยตำแหน่งที่ทำการวัดต้องไม่เป็นร่องของเสี้ยนไม้ ไม่มีขุย ไม่มีการฉีก หรือพื้นผิวที่มีการหลุดของเนื้อไม้เพื่อไม่ให้หัวเข็มของเครื่องวัดความเรียบผิวเสียหาย (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.)

ข) ขุยไม้ (Flake) คือ เศษของเนื้อไม้ที่ไม่สามารถกดออกได้หมด และยึดติดอยู่บนผิวชิ้นงาน ซึ่งขุยของเนื้อไม้นั้นยังแยกออกเป็นขุยที่ไม่ทำให้เนื้อไม้เกิดความเสียหาย และขุยที่ทำให้เนื้อไม้เสียหาย การเกิดขุยบ่งบอกถึงขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต (ตัวอย่างการกัดที่มีขุยเกิดขึ้นสามารถดูภาพจากภาคผนวก ก.)

ค) ความเสียหายของไม้ (Surface defect) แยกออกเป็นความเสียหายจากการฉีกของเนื้อไม้ และความเสียหายจากการหลุดของเนื้อไม้ ซึ่งความเสียหายทั้งสองแบบถือว่าเป็นความเสียหายที่ร้ายแรงไม่สามารถทำการแก้ไขได้โดยการขัด (สามารถดูภาพจากภาคผนวก ก.)

ง) รอยไหม้ของไม้ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มขึ้น และแนวโน้มการสึกหรอที่รวดเร็วของใบมีด

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

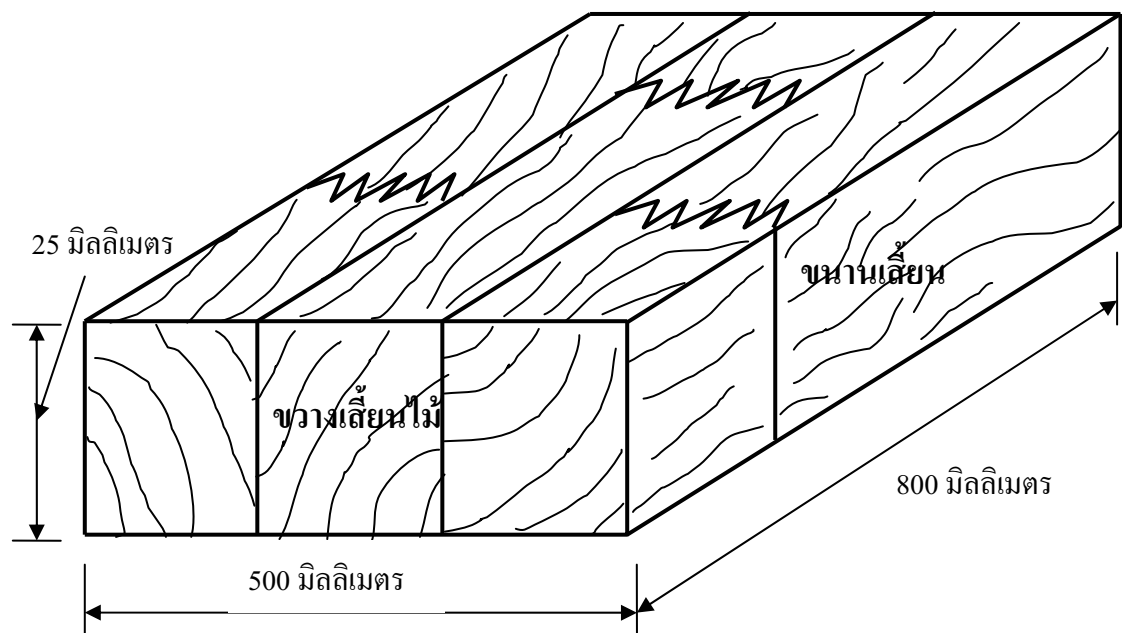
- เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (รูปที่ 3.4) สำหรับงานไม้ รุ่น Winner 2.45 K ของ Masterwood โดยความเร็วรอบสูงสุด 24,000 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนกัดสูงสุด 24 เมตรต่อนาที



รูปที่ 3.4 เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง

- ไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองได้จากการต่อของไม้เข้าด้วยกันโดยยึดแบบพื้นปลา โดยขนาดและลักษณะของไม้ที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลอง

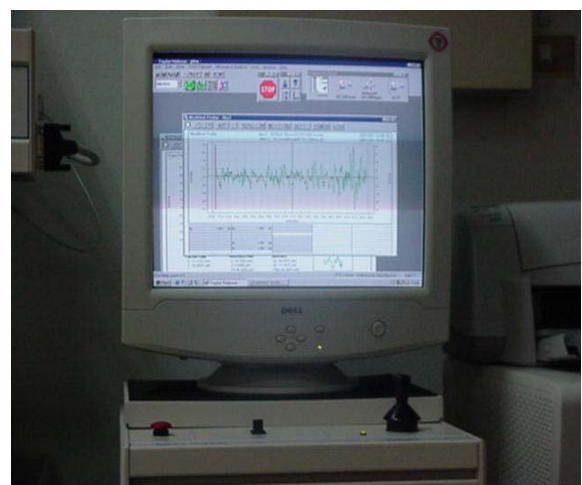
- ไบมีดกัดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบเชื่อมติด (Blazing Tool) แสดงในรูปที่ 3.6 โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18, 22 และ 26 มิลลิเมตร และไบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบถอดเปลี่ยนได้



รูปที่ 3.6 แสดงไบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ใช้ทดลอง

- เครื่องวัดความเรียบผิวเทเลอร์-ฮอบสัน (Taylor Hobson Instrument) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

เครื่องวัดความเรียบผิวชนิดเข็มลาก เป็นเครื่องมือวัดผิวหน้าชิ้นงานแบบสัมผัส ความสูงของเครื่องสามารถปรับได้ เพื่อให้เข็มลากหัวเพชรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด เข็มลากนี้ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ทั้งหมดยกเว้นในแนวตั้ง การขยายสัญญาณของเครื่องมือวัดผิวหน้าชนิดนี้จะเร็วและมีความละเอียดเที่ยงตรงสูง ที่เครื่องจะมีตัวบันทึกสัญญาณซึ่งจะทำหน้าที่บันทึกสัญญาณที่รับจากเข็มลากที่กระทำบนผิวหน้าชิ้นงาน และส่งผลที่ได้แปลงเป็นค่าความเรียบผิวในรูปของการวัดแบบต่างๆ



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความเรียบผิวเทเลอร์-ฮอบสัน

- เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบแคลมป์ออนมิเตอร์ (Clamp-On Meter) แสดงในรูปที่ 3.8

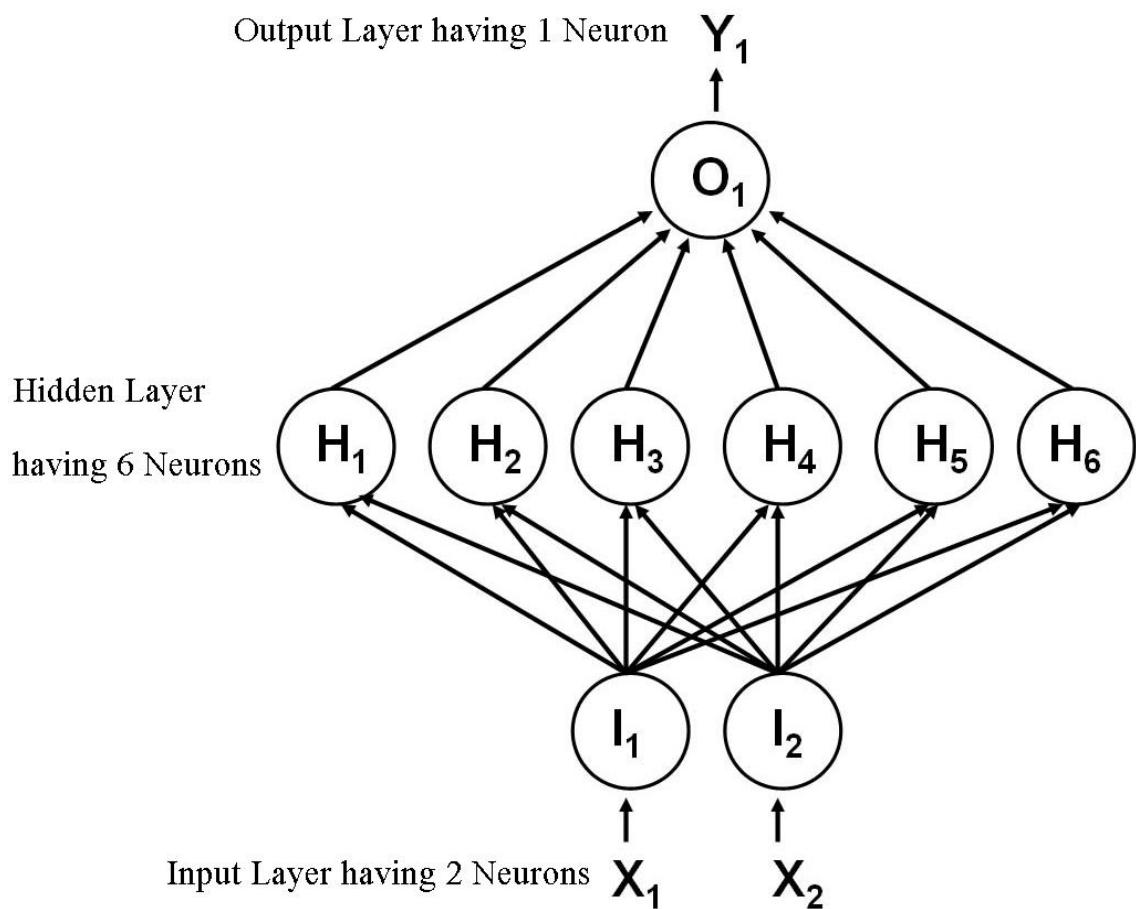


รูปที่ 3.8 เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบแคลมป์ออนมิเตอร์

แคลมป์ออนมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกักไม้ โดยใช้วิธีการคล้องสายไฟที่ทำการจ่ายไฟไปที่มิเตอร์ที่ควบคุมความเร็วของใบมีด

3.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ในการทำนายคุณภาพผิว

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีด้วยกันหลายแบบจำลอง และแบบจำลองที่ดีที่สุดเหมาะสมและได้รับความนิยมมากที่สุดคือ แบบจำลองแบบแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation model) เนื่องจากว่าแบบจำลองแบคโพรพาเกชันไม่มีการเชื่อมโยงกันแบบย้อนกลับ (Feedback connection) แต่อาศัยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่าความผิดพลาดนั้นคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุด (Least mean squared error) ค่าความผิดพลาดเกิดจากการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการปรับค่าจนกว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Tolerable) โดยโครงข่ายประสาทที่ใช้ในการฝึกหัดดูได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกหัด

3.5.1 การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม

การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มต้นจากการเตรียมข้อมูลจะทำการฝึกหัดดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองซึ่งมีพารามิเตอร์อยู่ 2 ชุดคือ ความเร็วรอบมีอยู่ 4 ระดับ คือ 8,000 10,000 14,000 และ 18,000 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนกักมีอยู่ 5 ระดับ คือ 1 3 6 12 และ 15 เมตรต่อนาที ในงานวิจัยนี้ใช้การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งออกเป็นอินพุตคือ ความเร็วรอบ และ อัตราการป้อนกัก ส่วนเอาต์พุตคือ ความเรียบผิว การเกิดขุยไม้ และความเสียหายของไม้

ในงานวิจัยได้กำหนดอินพุตและเอาต์พุตที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

- ส่วนของอินพุตซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกักงานด้วยเครื่องซีเอ็นซี

X_1 = ความเร็วรอบ ที่ระดับ 8,000 10,000 14,000 และ 18,000 รอบต่อนาที

X_2 = อัตราการป้อนกัก ที่ระดับ 1 3 6 12 และ 15 เมตรต่อนาที

- ส่วนของเอาต์พุตซึ่งเป็นผลกระทบของค่าตัวแปรในการกักงานด้วยเครื่องซีเอ็นซี โดยค่าของเอาต์พุตมีทั้งหมด 3 ค่า ซึ่งทั้งสามเอาต์พุตนี้จะมีโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละเอาต์พุต แต่มีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเหมือนกัน เอาต์พุตทั้งสามแยกเป็น

Y_1 = ความเรียบผิว

Y_2 = การเกิดขุยไม้

Y_3 = ความเสียหายของไม้

เมื่อเตรียมข้อมูลแล้วทำการป้อนข้อมูลลงไปในส่วน of แบบจำลองแบบโครงข่ายประสาทเทียมและทำการกำหนดหน่วยประสาทในแต่ละชั้น โดยมีชั้นที่ซ่อนไว้ 1 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต (Input layer) 2 หน่วย ชั้นที่ซ่อนไว้ชั้นแรก (Hidden Layer) 6 หน่วย และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) 1 หน่วย และทำการตั้งค่าความผิดพลาด (Goal Error) ไว้ที่ 0.1 และค่าการเรียนรู้ (Learning Rate) ไว้ที่ 0.25 ของแบบจำลองให้เหมาะสม ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้นั้นหมายถึง ค่าความผิดพลาดจากการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

```
Untitled*
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
[Icons] Stack Base
1 clc;
2 clear;
3 % train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
4 p=[905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14
5 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43
6 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71
7 1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584
8 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29
9 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 ;
10
11 1 2 3 6 9 12 15
12 1 2 3 6 9 12 15
13 1 2 3 6 9 12 15
14 1 2 3 6 9 12 15
15 1 2 3 6 9 12 15
16 1 2 3 6 9 12 15 ];
17
18 % straight
19 t =
20 [1.6116 1.8242 2.2105 2.4815 2.5713 2.6231 2.3305
21 1.4340 2.1376 1.8409 2.2237 2.5704 2.4012 2.3246
22 1.6421 1.7963 1.8324 1.9140 2.4308 3.4041 3.4663
23 1.5767 1.6414 1.5488 2.3864 3.1689 2.5485 2.5183
24 1.6141 1.6468 1.5728 2.0026 2.2380 2.5622 2.2415
25 1.7217 1.7426 1.5995 1.5550 2.0237 2.4294 2.2635] ;
26
27 net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
28 net.trainParam.show=100;
29 net.trainParam.lr=0.6;
30 net.trainParam.mc=0.8;
31 net.trainParam.epochs=50000;
32 net.trainParam.goal=0.001;
33 net=train(net,p,t);
34
35 % weight of network
36 input_weight = net.iw{1,1}
37 output_weight = net.lw{2,1}
38 bias_hidden = net.b{1,1}
39 bias_output = net.b{2,1}
```

รูปที่ 3.10 ข้อมูลในชุดฝึกหัดของโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อป้อนข้อมูลลงไปในส่วน of แบบจำลองแบบโพรพาเกชัน กำหนดหน่วยประสาทแต่ละชั้น กำหนดค่าความผิดพลาด และค่าการเรียนรู้ จากนั้นแบบจำลองแบบโพรพาเกชันจะทำการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและถูกต้อง และแสดงผลของเอาต์พุตที่ได้รับการฝึกหัด ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและถูกต้องที่สุดนั้นเมื่อเสร็จสิ้นการฝึกหัดโปรแกรมจะทำการเก็บค่าถ่วงน้ำหนักไว้ใช้ต่อไป ส่วนระยะเวลาในการฝึกหัดจะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาด ค่าการเรียนรู้ และขึ้นอยู่กับปริมาณของข้อมูลที่ใช้ทำการฝึกหัด

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองกรณีใช้ใบมีดแบบเพชรหลายผลึก (Polycrystal Diamond; PCD)

4.1.1 อิทธิพลของความเร็วรอบและอัตราการป้อนกัดที่มีต่อคุณภาพผิวชิ้นงานหลังการกัด

4.1.1.1 ลักษณะผิวกัดที่ได้

ตารางที่ 4.1 ผลการสังเกตสภาพผิวชิ้นงานกรณีใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก

Cutting direction	Speed (rpm)	feed (m/min)											
		8				12				15			
		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut	
		ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก
Along grain	15,000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	○	✓
	18,000	⊙	✓	⊙	✓	✱	✓	✱	✓	△	✓	○	✓
	21,000	✱	✓	✱	✓	⊙	✓	✱	✓	✱	✓	⊙	✓
Across grain	15,000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	⊙	✓	✱	✓	△	✓
	18,000	✱	✓	○	✓	⊙	✓	△	✓	✱	✓	○	✓
	21,000	⊙	✓	⊙	✓	✱	✓	○	✓	⊙	✓	○	✓

✱ = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย

⊙ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย

○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง

△ = มีขุยเกิดขึ้นมาก

✓ = ไม่มีการฉีก

✕ = มีรอยฉีกตามแนวยาว

⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

หมายเหตุ รายละเอียดของสัญลักษณ์อยู่ในภาคผนวก ก.

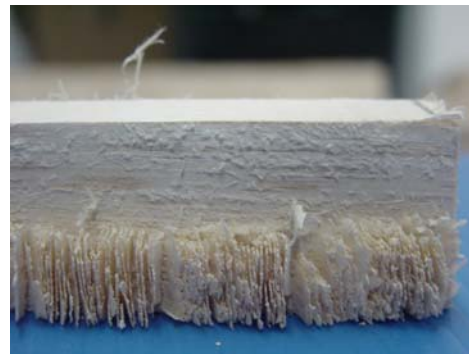
- ขุยของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การกัดแบบขวางเส้นไม้มาก่อนให้เกิดขุยมากกว่าการกัดแบบขนานเส้นไม้ เนื่องจากว่าขุยที่เกิดขึ้นในส่วนของการกัดแบบขวางเส้นไม้นั้น จะเกิดที่ขอบของผิวหน้าชิ้นงานซึ่งจะแตกต่างจากขุยที่ได้กำหนดจากเบื้องต้นดังรูปที่ 4.1 สาเหตุของการเกิดขุยชนิดนี้เนื่อง จากการกัดโดยใช้ใบมีดเพชรหลายผลึก ทำการกัดที่อัตราการป้อนกัดที่ค่อนข้างสูง ทำให้ใบมีดที่ทำการกัดไม่

สามารถกัดเสี้ยนไม้ได้หมด ทำให้เกิดขุยลักษณะนี้เกิดขึ้น และมาดูในส่วนของการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) ก่อให้เกิดขุยที่มากกว่าการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) เนื่องจากว่า การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนนั้น คมมีดแรกที่ทำกรกัดเนื้อชิ้นงานออกไปแล้วจะมีใบมีดถัดไปกัดหน้าผิวชิ้นงานซ้ำ ในขณะที่การกัดแบบตามทิศทางการป้อนไม่เกิดการกัดซ้ำที่หน้าผิวชิ้นงานเดิมดังรูปที่ 4.2 และที่อัตราการป้อนกัดสูงก่อให้เกิดขุยที่มาก เนื่องจากการเคลื่อนที่ใบมีดที่เร็วทำให้ใบมีดมีโอกาสตัดเนื้อขุยที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานออกได้น้อยลง

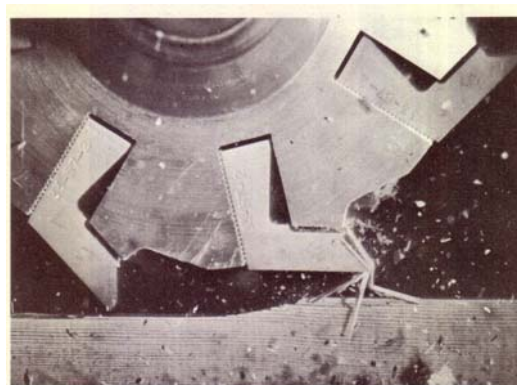


ก) การเกิดขุยไม้ด้านขอบชิ้นงาน



ข) การเกิดขุยไม้ด้านหน้าชิ้นงาน

รูปที่ 4.1 ลักษณะการเกิดขุยไม้ทั่วไปเปรียบเทียบกับขุยไม้ที่เกิดที่ขอบชิ้นงาน



รูปที่ 4.2 การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด [1]

- ความเสียหายของไม้

จากผลการทดลองใบมีดเพชรหลายผลึกไม่ก่อให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อไม้หรือการหลุดของเนื้อไม้

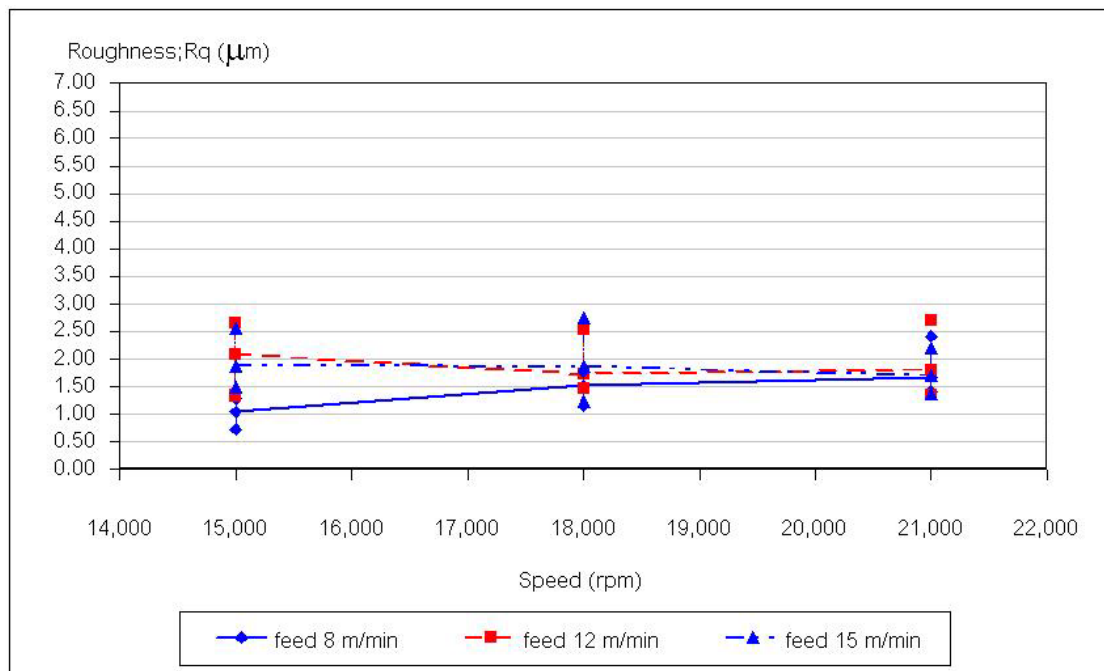
- รอยไหม้บนผิวไม้

จากผลการทดลองในทุกๆเงื่อนไขของการกัดพบว่าไม่มีรอยไหม้เกิดขึ้น

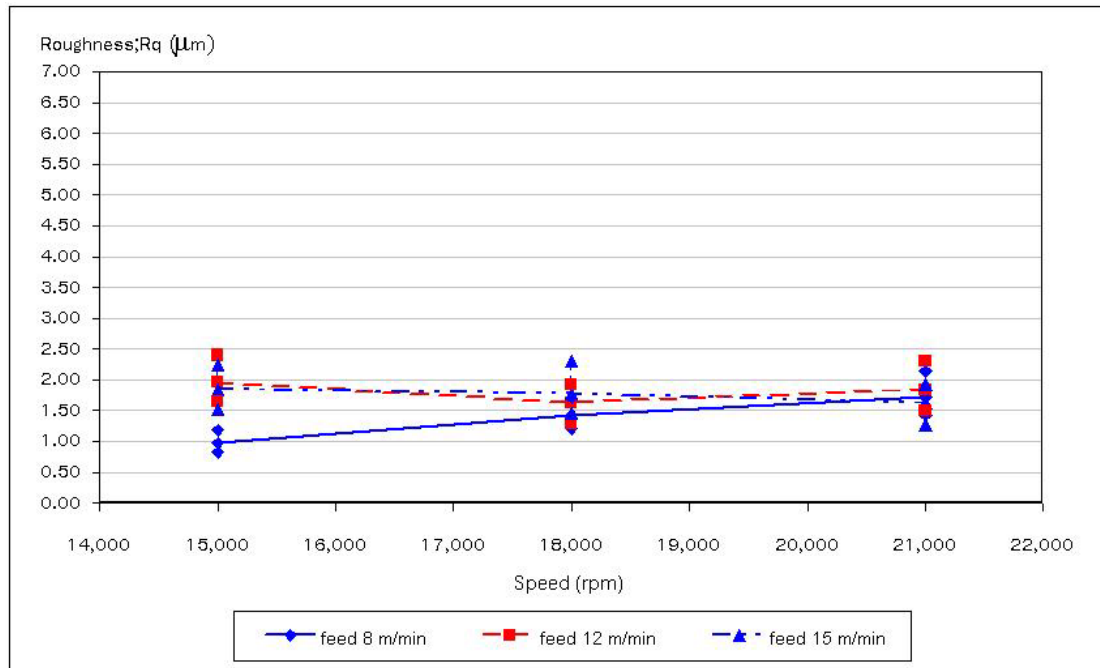
4.1.1.2 ความเรียบผิวชิ้นงาน

จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานแบบการกัดขนานเส้นไม้ กรณีกัดสวนทิศทางการป้อน และตามทิศทางการป้อนแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

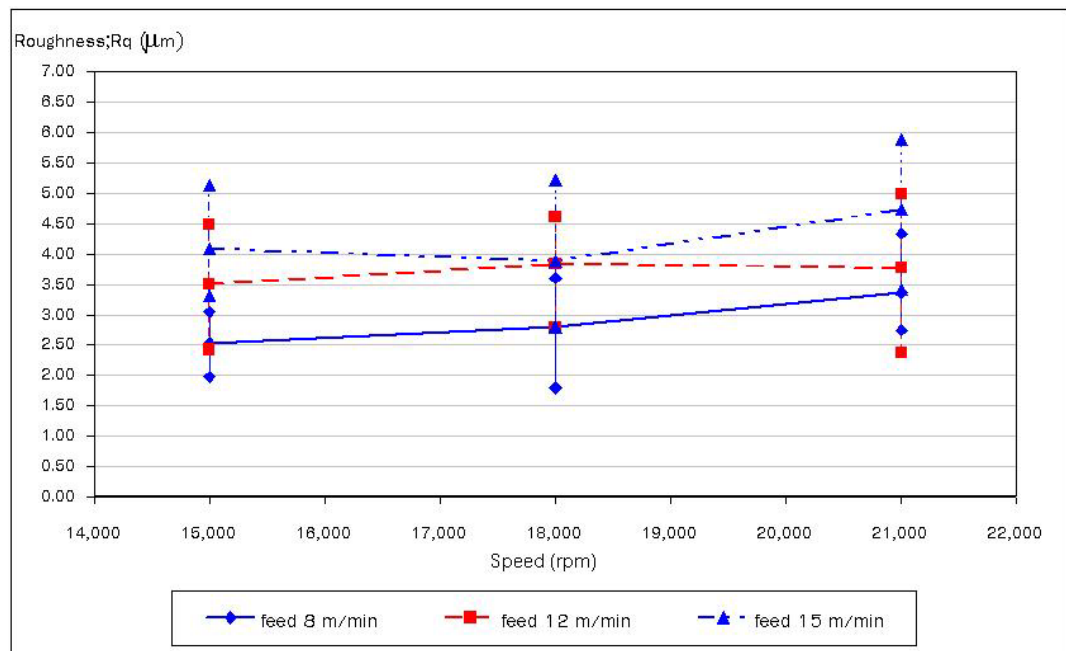
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงขึ้นความเรียบผิวที่ได้มีแนวโน้มจะแย่ลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี [1] ทำให้ที่อัตราการป้อนกัด 8 เมตรต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราการป้อนกัดต่ำที่สุด และเมื่อความเร็วรอบมีค่าเพิ่มมากขึ้นความเรียบผิวที่ได้จะแย่ลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี [1] และการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนและการกัดตามทิศทางการป้อนจะให้ผลที่คล้ายคลึงกัน และที่อัตราการป้อนกัด 12 และ 15 เมตรต่อนาที แนวโน้มที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางการป้อนแบบสวนทิศทางการป้อน (Upcut)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขนานเส้นไม่แบบตาม
ทิศทางการป้อน (Downcut)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความเรียบผิวกรณีกัดทิศทางขวางเส้นไม่แบบสวน
ทิศทางการป้อน (Upcut)