# บทที่ 4

## ผลการวิจัย

เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าการคำนวณของโปรแกรม ว่าสามารถคิดคำนวณถูกต้อง ดังนั้นจึงนำโจทย์ตัวอย่างมาทดลองหาคำตอบเปรียบเทียบกันระหว่าง การคิดคำนวณตามปกติกับการใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ต่อจากนั้นจะเป็นการทดลองนำค่าที่ได้จากโปรแกรมไปทดลองปฏิบัติในสภาวะการทำงานจริง เพื่อเปรียบเทียบดูว่าค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎีสามารถนำไปปฏิบัติจริงได้หรือไม่ อายุของคมมีดจากการปฏิบัติจริงมีค่าประมาณเท่าไร การแตกหักหรือสึกหรอของคมมีดมีลักษณะอย่างไร

### 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม

จงหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อชิ้น $C_p$ และ เวลาทั้งหมดต่อชิ้น $T_p$ กับตัวแปรต่าง ๆ ในกรณีของการใช้ใบมีดเหล็กหล้าไฮสปีดกลึงปอกผิวชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 1045 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D= 100 mm ยาว L= 300 mm โดยใช้เครื่องกลึงชนิดธรรมดา (Center lathe) ในการกลึงจะปาดผิวชิ้นงานแต่ละชิ้นครั้งเดียว คือ $N_p$ =1 โดยตั้งค่าความลึก $d$ = 1.5 mm
อายุการใช้งานของใบมีด $T$ หน่วยเป็นนาทีจะทราบได้จากสมการต่อไปนี้

$$T = Cv^n f^m d^p = 2.6\times10^8 v^{-4.30} f^{2.7} d^{-1.5} \qquad (4\text{-}1)$$

$v$ คือความเร็วที่ใช้ในการตัด (m/min)
$f$ คืออัตราการป้อนที่ใช้ในการตัด (mm/rev)
$d$ คือความลึกที่ใช้ในการกลึง (mm)

กำหนด อัตราการป้อนของเครื่องกลึงอยู่ในช่วงความเร็ว 1-3 mm/rev

ตาราง 4.1 ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณซึ่งเป็นข้อมูลจริงที่พบทั่วไปในปี พ.ศ. 2543-2544

| ลำดับที่ | รายการ | มูลค่า (บาท/นาที) |
|---|---|---|
| 1 | อัตราค่าแรงของช่างกลึง | 0.833 |
| 2 | อัตราค่าไฟในการขับเคลื่อนเครื่องกลึง | 0.379 |
| 3 | อัตราค่าไฟแสงสว่าง | 0.053 |
| 4 | อัตราค่าเสื่อมราคาของเครื่องกลึงจากการใช้งาน | 0.471 |
| 5 | อัตราค่าเสื่อมราคาของเครื่องลับใบมีดเนื่องจากการใช้งาน | 0.208 |
| 6 | อัตราค่าไฟในการขับเคลื่อนเครื่องเครื่องลับใบมีด (เครื่องเจียระไน) | 0.50 |
| 7 | การสึกหรอของหินเจียระไน | 0.05 |
| *8 | ราคาของใบมีดต่อคม | 24 บาทต่อคม |

ที่มา : ศุภโชค วิริยโกศล, 2543 :237-238

* หมายเหตุ ใบมีดเหล็กหล้าไฮสปีด 1 ใบ มี 1 คมใช้ตัดชิ้นงานจนหมดอายุและลับใหม่ได้ 5 ครั้ง จึงทิ้งไป ค่าใบมีด 120 บาท/ ใบ เพราะฉะนั้นราคาของใบมีดต่อคมเท่ากับ 120 / 5 เท่ากับ 24 บาทต่อคม

ตาราง 4.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาสำหรับใช้ในการคำนวณ ได้จากการทดลองโดย ศุภโชค และคณะ

| ลำดับที่ | รายการ | เวลา (นาที/ชิ้น) |
|---|---|---|
| 1 | เวลาที่ใช้ในการ ใส่ชิ้นงาน | $T_l = 0.299 + 2.032 \times 10^{-7} \times LD^2$ |
| 2 | เวลาที่ใช้ในการ ถอดชิ้นงาน | $T_u = 0.259 + 1.773 \times 10^{-7} \times LD^2$ |
| *3 | เวลาที่ใช้ในการ ตั้งใบมีดต่อชิ้นงาน | $T_s = N_p(0.048 + 0.244 \times 10^{-3} L)$ |
| 4 | เวลาที่ใช้เปลี่ยนคมมีดหนึ่งคม | $T_d = 0.290$ (นาที/คม) |
| 5 | เวลาที่ใช้ลับคมมีดโดยเฉลี่ยต่อครั้ง | $T_g = 30$ |

ที่มา : ศุภโชค วิริยโกศล, 2543 :237-238

* หมายเหตุ เมื่อ $N_p =$ จำนวนครั้งของการปาดผิวชิ้นงานหนึ่งชิ้น (number of pass per piece)

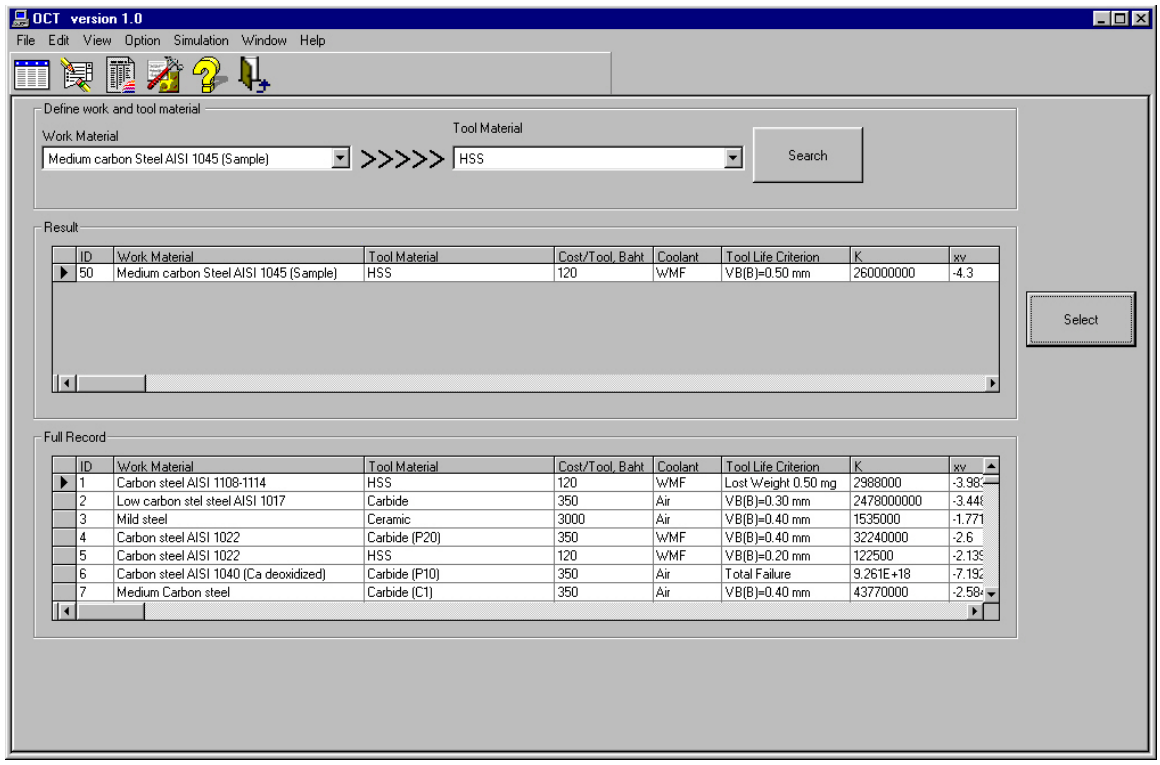
ตาราง 4.3 วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายต่างๆ

| ลำดับที่ | รายการ | มูลค่า (บาท/นาที) |
|---|---|---|
| 1 | $a_0$ = อัตราค่าไฟการให้แสงสว่าง | 0.053 |
| 2 | $a_l$ = อัตราค่าแรงของช่างกลึง | 0.833 |
| 3 | $a_u$ = อัตราค่าแรงของช่างกลึง | 0.833 |
| 4 | $a_s$ = อัตราค่าแรงของช่างกลึง | 0.833 |
| 5 | $a_m$ = ค่าไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเครื่องกลึง+อัตราค่าแรงของช่างกลึง | 0.379+0.833 = 1.212 |
| 6 | $a_d$ = อัตราค่าเสื่อมราคาของเครื่องกลึงเนื่องจากการใช้งาน | 0.417 |
| 7 | $b_0$ = อัตราค่าไฟการให้แสงสว่าง | 0.053 |
| 8 | $b_g$ = อัตราค่าแรงของช่างในการลับมีด+อัตราค่าไฟในการขับเคลื่อนเครื่องเจียระไน+การสึกหรอของหินเจียระไน | 0.833+0.50+0.05=1.383 |
| 9 | $b_d$ = อัตราค่าเสื่อมราคาของเครื่องลับใบมีด | 0.208 |

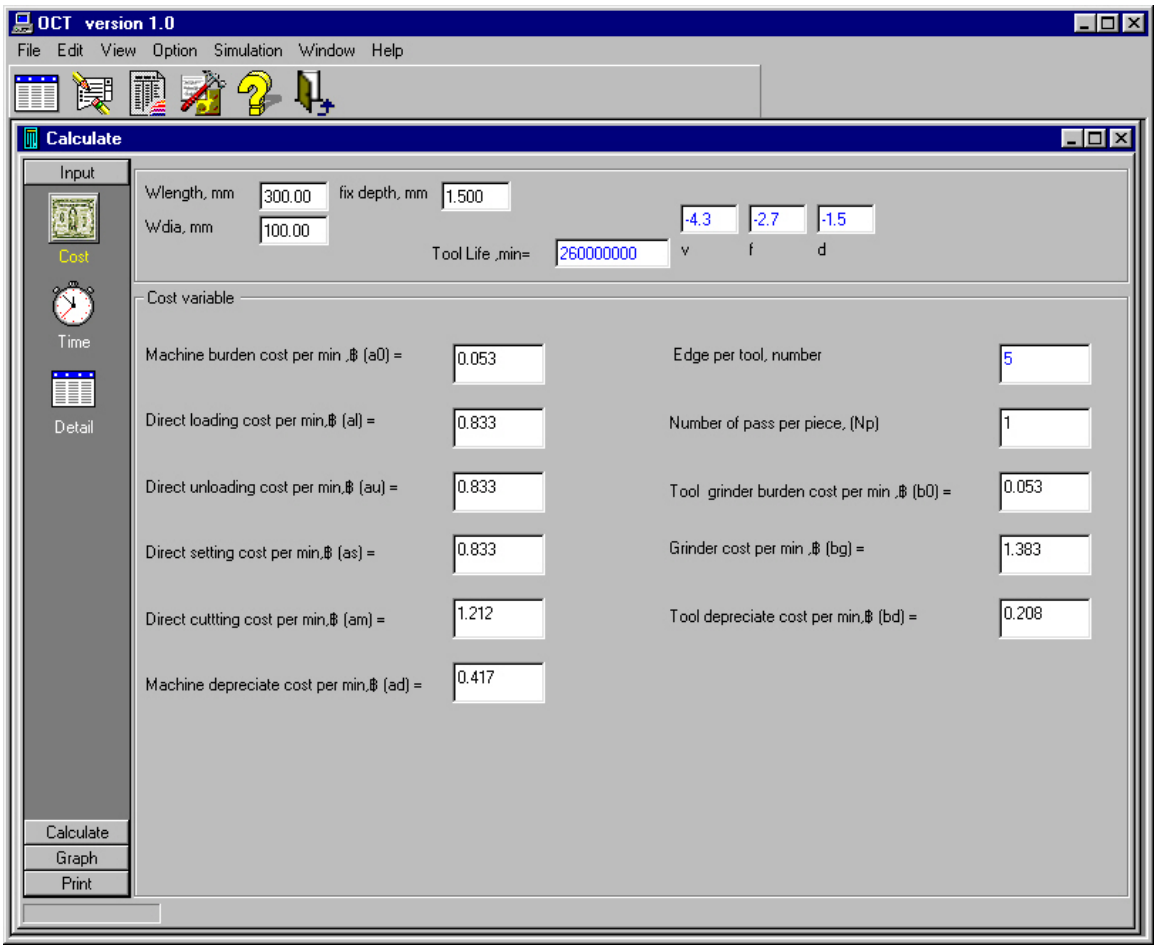
<u>ผลการทำงานของโปรแกรมตามสถานการณ์สมมุติ</u>

เริ่มต้นเป็นการเลือกชนิดของชิ้นงานและใบมีดจากฐานข้อมูล การป้อนค่าตัวแปรเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายให้กับโปรแกรม การป้อนค่าตัวแปรเกี่ยวกับเวลาให้กับโปรแกรม และรายละเอียดของสมการอายุคมมีดจากฐานข้อมูล ดังภาพประกอบ 4.1 – 4.4

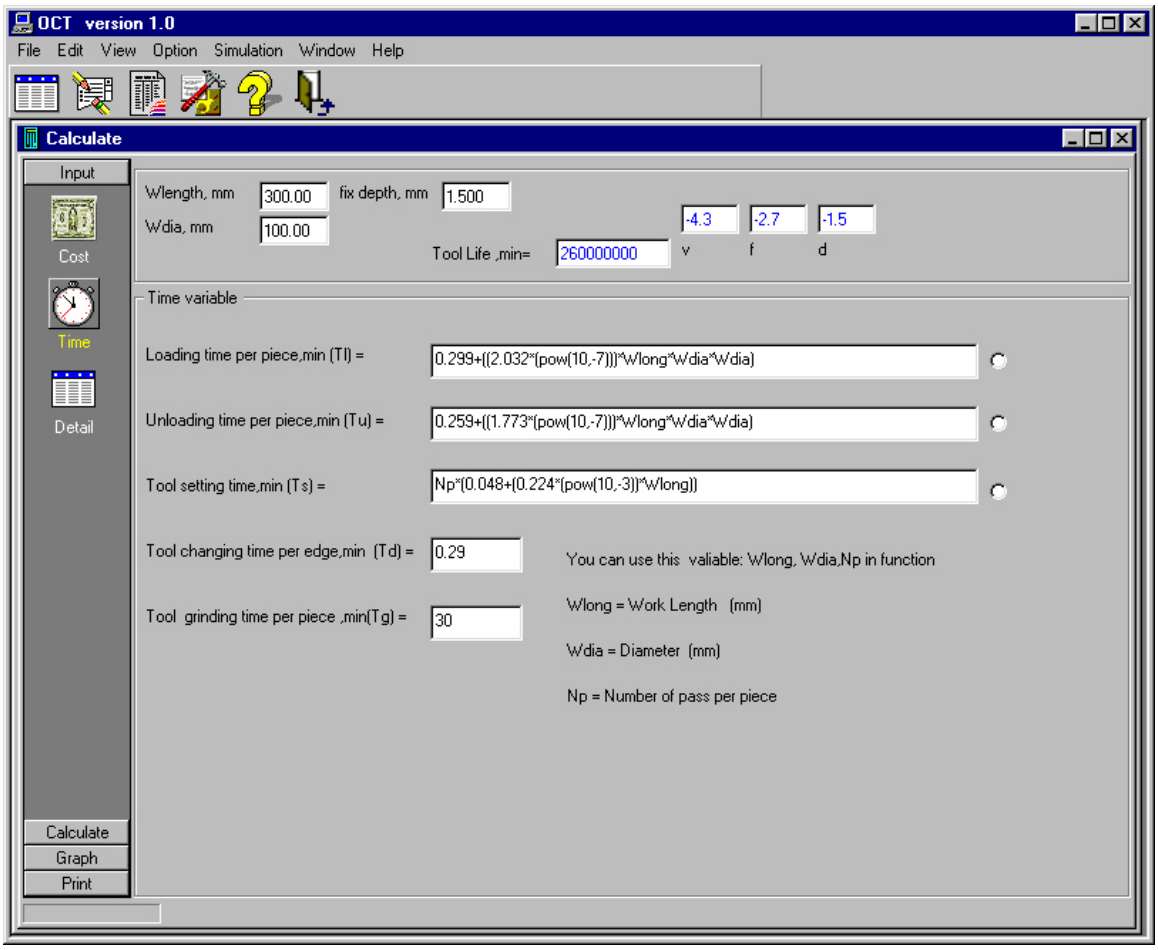
ผลการคำนวณจากโปรแกรม ทั้งกรณีของต้องการให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimum cost per piece) และต้องการให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด (minimum time per piece) รวมถึงรายละเอียดผลการคำนวณต่างๆ ที่ได้จากโปรแกรม ดังภาพประกอบ 4.5 - 4.6



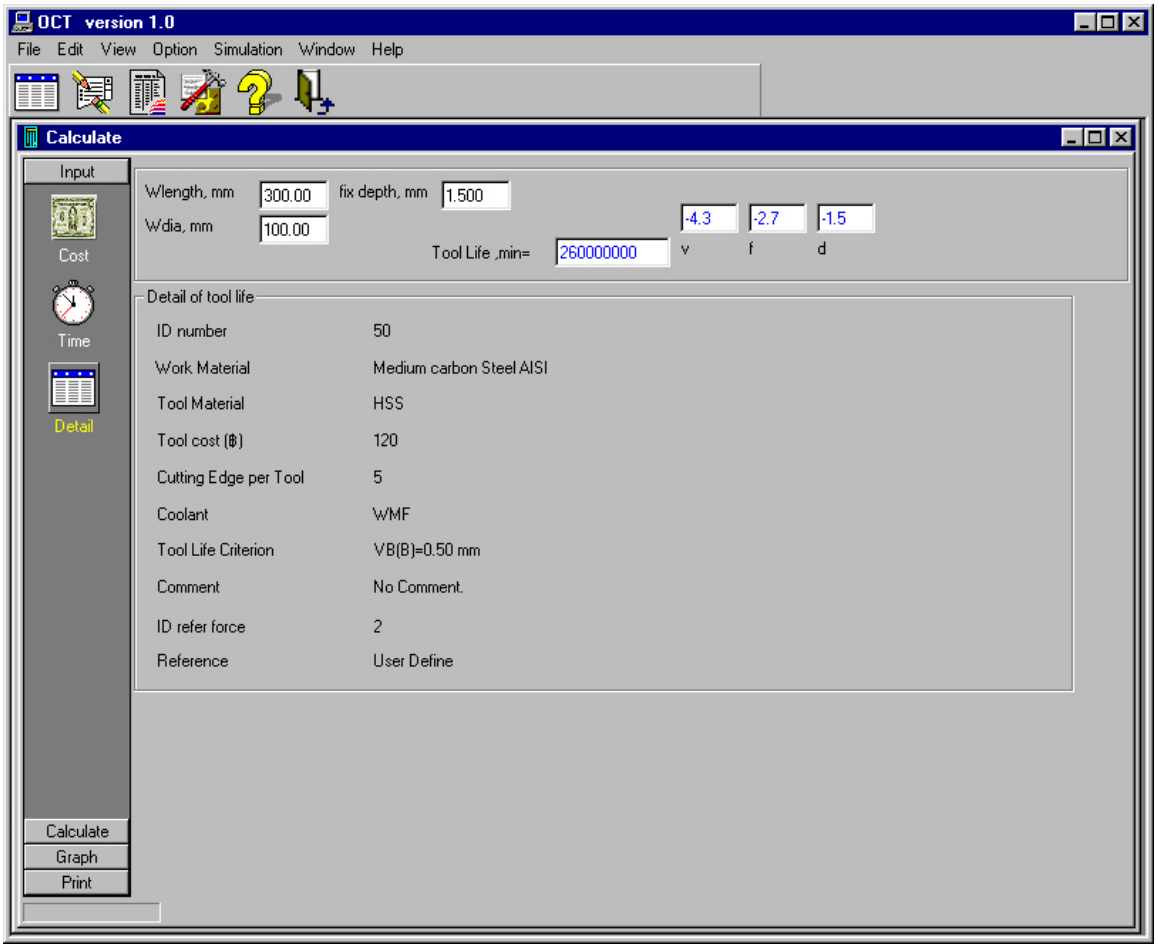

ภาพประกอบ 4.1 การเลือกชนิดของชิ้นงานและใบมีดจากฐานข้อมูล



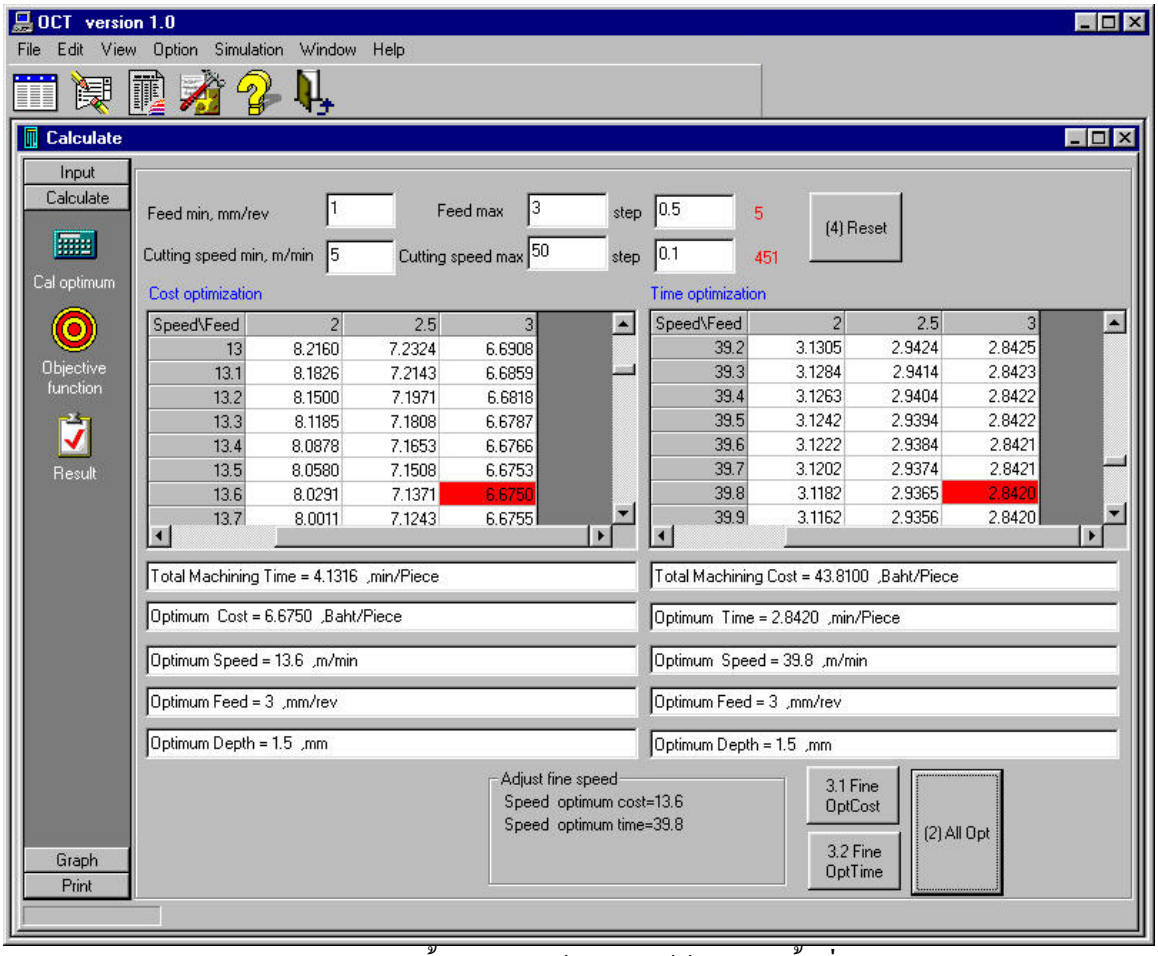

ภาพประกอบ 4.2 การป้อนค่าตัวแปรเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายให้กับโปรแกรม



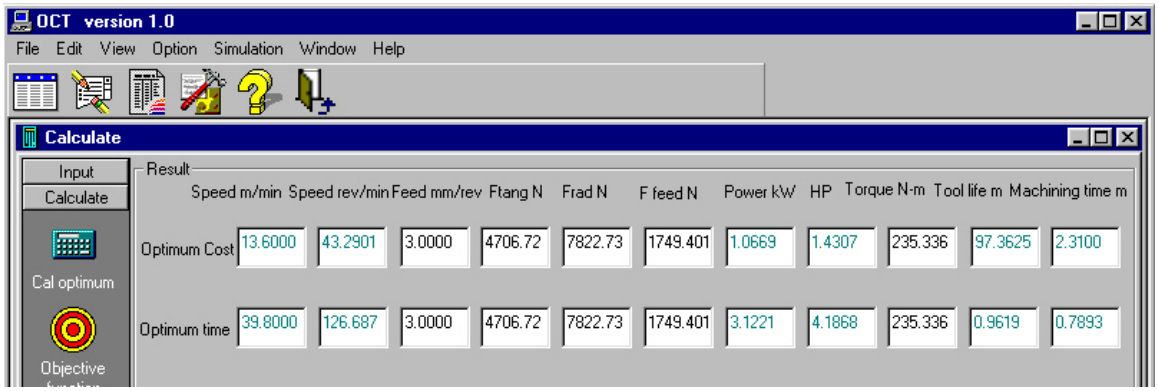

ภาพประกอบ 4.3 การป้อนค่าตัวแปรเกี่ยวกับเวลาให้กับโปรแกรม




ภาพประกอบ 4.4 รายละเอียดของสมการอายุคมมีดจากฐานข้อมูล




ภาพประกอบ 4.5 ผลการคำนวณทั้งกรณีของต้องการให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimum cost per piece) และต้องการให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด (minimum time per piece)




ภาพประกอบ 4.6 รายละเอียดผลการคำนวณต่างๆ ที่ได้จากโปรแกรม

<u>ตัวอย่างการคำนวณ ตามสถานการณ์สมมุติ</u>

การเลือกสภาวะการตัดเพื่อให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimum cost per piece)

$$C_p = C_l + C_u + C_s + C_m + C_t$$
$$= (a_0 + a_l)T_1 + (a_0 + a_u)T_u + (a_0 + a_s)T_s + (a_0 + a_m + a_d)T_m$$
$$+[(a_0 + a_m + a_d)T_c + (b_0 + b_g + b_d)T_g]/N_w$$

$$C_p = (a_0 + a_l)T_l + (a_0 + a_u)T_u + (a_0 + a_s)T_s$$
$$+(a_0 + a_m + a_d)N_p L\pi D/(1000fv)$$
$$+[(a_0 + a_m + a_d)T_d + (b_0 + b_g + b_d)T_g]/\{1000Cv^{n+1}f^{m+1}d^p / N_p L\pi D\}$$

$$C_p = (0.053 + 0.833)\times(0.299 + 2.032\times10^{-7}\times LD^2) +$$
$$(0.053 + 0.833)\times(0.259 + 1.773\times10^{-7}\times LD^2) +$$
$$(0.053 + 0.833)\times(1)\times(0.048 + 0.224\times10^{-3}L) +$$
$$(0.053 + 1.212 + 0.417)\times(1)\times(L\pi D)/(1000fv) +$$
$$((0.053 + 1.212 + 0.0417)\times(2.90) + (0.053 + 1.383 + 0.208)\times(30))/(1000Cv^{n+1}f^{m+1}d^p/1\times L\pi D)$$

$$C_p = (0.866)\times(0.299 + 2.032\times10^{-7}\times(300)(100^2) +$$
$$(0.866)\times(0.259 + 1.773\times10^{-7}\times(300)(100)^2) +$$
$$(0.866)\times(1)\times(0.048 + 0.224\times10^{-3}(300)) +$$
$$(0.053 + 1.212 + 0.417)\times(1)\times(300\times3.14\times100)/(1000fv) +$$
$$((1.682)\times(2.90) + (1.644)\times(30))\times(1\times300\times3.14\times100)/(1000\times2.6\times10^8 v^{-4.3+1}f^{-2.7+1}1.5^{-1.5})$$

$$C_p = 0.8050 + 0.7007 + 0.1021 + 158.5427/(fv) + (1.8055\times10^{-5})/(v^{-4.3+1}f^{-2.7+1}1.5^{-1.5})$$

$$C_p = 1.6078 + 158.5427/(fv) + (1.8055\times10^{-5})/(v^{-3.3}f^{-1.7}1.5^{-1.5})$$

$$C_p = 1.6078 + 158.5427 f^{-1} v^{-1} + (1.8055 \times 10^{-5}) v^{3.3} f^{1.7} 1.5^{1.5}$$

การเลือกสภาวะการตัดเพื่อให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด (minimum time per piece)

$$T_p = T_l + T_u + T_s + T_m + T_c$$
$$T_p = T_l + T_u + T_s + N_p L\pi D/(1000 fv) + T_d N_p L\pi D/(1000 C v^{n+1} f^{m+1} d^p)$$

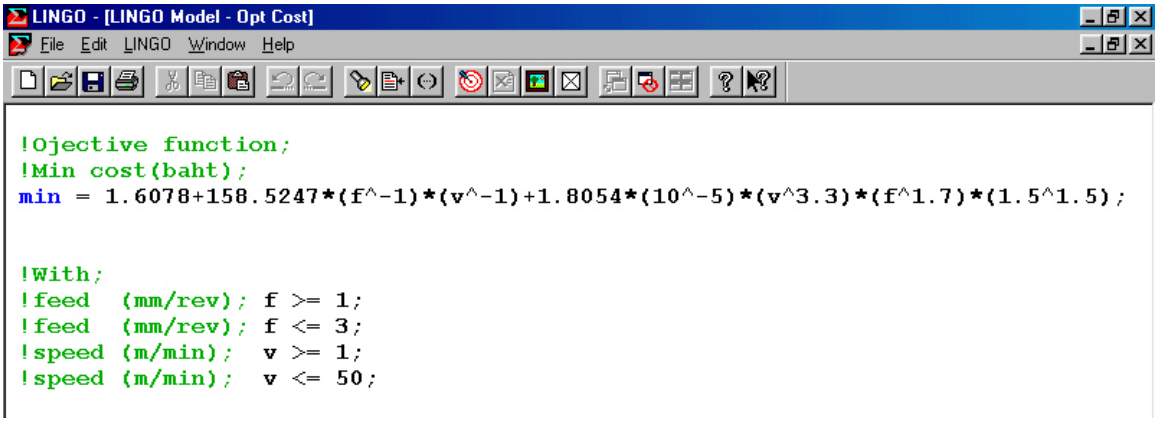
$$\begin{aligned} T_p = {} & (0.299 + 2.032 \times 10^{-7} LD^2) + \\ & (0.259 + 1.773 \times 10^{-7} LD^2) + \\ & (1) \times (0.048 + 0.224 \times 10^{-3} D) + \\ & ((1) L\pi D/(1000 fv)) + \\ & (0.290 \times (1) \times L\pi D)/(1000 \times (2.6 \times 10^8) v^{-4.3+1} f^{-2.7+1} 1.5^{-1.5}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_p = {} & (0.299 + 2.032 \times 10^{-7} (300) \times (100)^2) + \\ & (0.259 + 1.773 \times 10^{-7} (300) \times (100)^2) + \\ & (1) \times (0.048 + 0.224 \times 10^{-3} (100)) + \\ & (1 \times 300 \times 3.14 \times 100)/(1000 fv)) + \\ & (0.290 \times (1) \times 300 \times 3.14 \times 100)/(1000 \times (2.6 \times 10^8) v^{-4.3+1} f^{-2.7+1} 1.5^{-1.5}) \end{aligned}$$

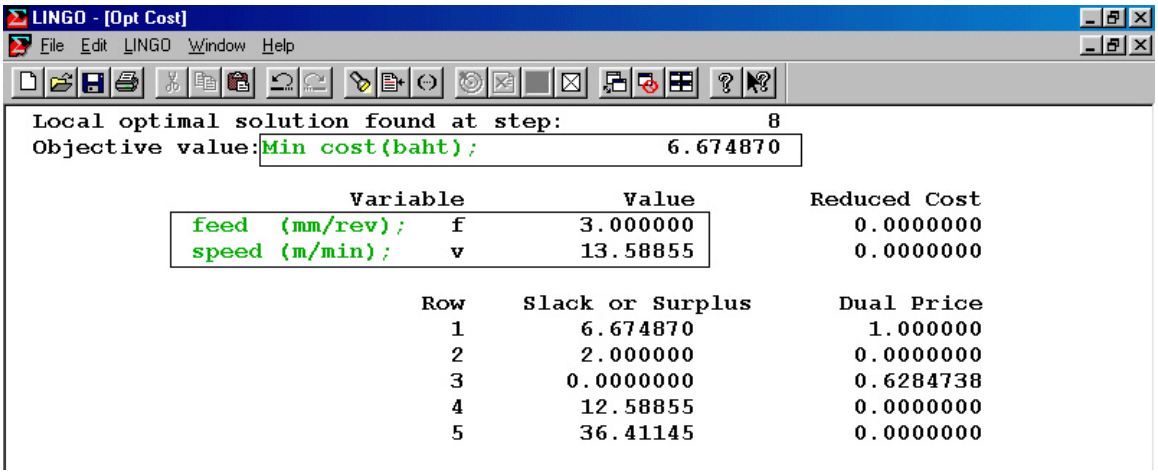
$$T_p = 0.9086 + 0.7909 + 0.1152 + 94.247/(fv) + (1.0512 \times 10^{-7})/(v^{-3.3} f^{-1.7} 1.5^{-1.5})$$

$$T_p = 1.8147 + 94.247 f^{-1} v^{-1} + (1.0512 \times 10^{-7}) v^{3.3} f^{1.7} 1.5^{1.5}$$

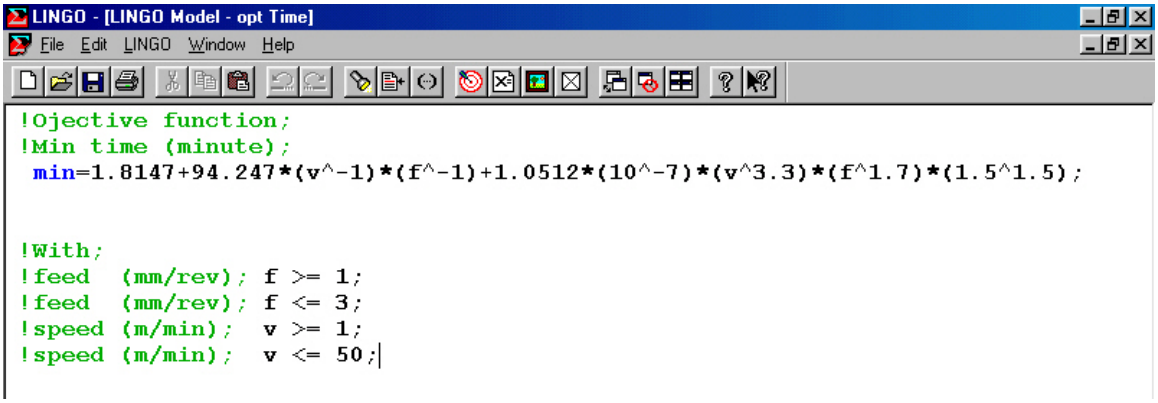
หากเราต้องการหาค่าคำตอบของสมการดังกล่าว สามารถทำโดยทดลองเปลี่ยนค่า $v$ และ $f$ แล้วดูว่า ค่าคู่ใดที่ส่งผลให้ $C_p$ หรือ $T_p$ มีค่าต่ำสุด ก็คือคำตอบของสมการ เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมว่าสามารถหาคำตอบได้ถูกต้อง จึงนำสมการดังกล่าวไปหาค่าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่สามารถหาคำตอบจากสมการทางคณิตศาสตร์แบบ non-linear ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ทดสอบนี้คือโปรแกรม Lingo version7.0 ของบริษัท Lindo Systems,Inc. www.lindo.com ผลการคำนวณ ดังภาพประกอบ 4.7-4.10



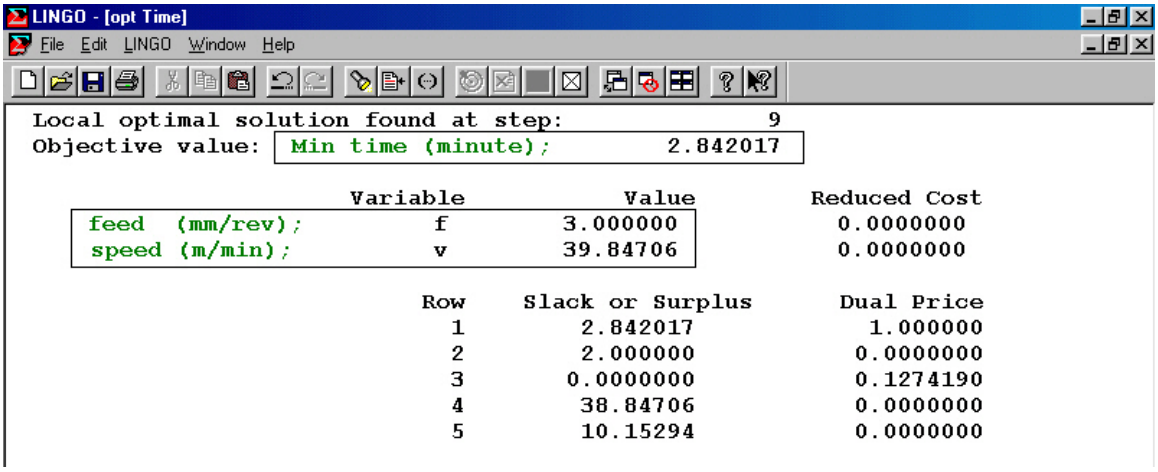

ภาพประกอบ 4.7 การป้อนค่าให้กับโปรแกรม Lingo เพื่อหาคำตอบให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด




ภาพประกอบ 4.8 ผลการคำนวณที่ทำให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด




ภาพประกอบ 4.9 การป้อนค่าให้กับโปรแกรม Lingo เพื่อหาคำตอบให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด




ภาพประกอบ 4.10 ผลการคำนวณที่ทำให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด

ดังนั้นคำตอบที่ได้จากการคำนวณ

1 . กรณีเป้าหมายคือ ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

| | | |
|---|---|---|
| ความเร็วที่เหมาะสมคือ | 13.6 | m/min |
| อัตราการป้อนที่เหมาะสมคือ | 3.0 | mm/rev |

2 .กรณีเป้าหมายคือ เวลาต่อชิ้นต่ำสุด

| | | |
|---|---|---|
| ความเร็วที่เหมาะสมคือ | 39.8 | m/min |
| อัตราการป้อนที่เหมาะสมคือ | 3.0 | mm/rev |

คำนวณ อัตราความเร็ว (rev/min) มีค่าเท่ากับ $\frac{V}{\pi D}$

เมื่อ $V$ เป็นความเร็ว (m/min)

$D$ เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (m)

กรณีเป้าหมายคือ ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

อัตราความเร็ว $= \frac{13.6}{3.14\times100\times10^{-3}} = 43.3$ rev/min

กรณีเป้าหมายคือ เวลาต่อชิ้นต่ำสุด

อัตราความเร็ว $= \frac{39.8}{3.14\times100\times10^{-3}} = 126.7$ rev/min

คำนวณแรงในแนว $F_{\tan g}$ $F_{rad}$ และ $F_{feed}$ ของทั้ง 2 กรณีได้ดังนี้

$$F_{\tan g} = 10^{e0t} v^{evt} f^{eft} d^{edt}$$
$$F_{rad} = 10^{e0r} v^{evr} f^{efr} d^{edr}$$
$$F_{feed} = 10^{e0f} v^{evf} f^{eff} d^{edf}$$

เมื่อ $v$ = ความเร็วในการตัด (m/min)

$f$ = อัตราการป้อนมีหน่วยเป็น (mm/rev)

$d$ = ความลึกในการตัด (mm) กรณีนี้กำหนด d มีค่าเท่ากับ 1.5 mm

$F_{\tan g}$ $F_{rad}$ และ $F_{feed}$ = แรงที่ใช้ในการตัด ( $N$ )

$e0t$ $e0r$ $e0f$ $evt$ $evr$ $evf$ $eft$ $efr$ $eff$ $edt$ $edr$ และ $edf$ เป็นค่าคงที่ ที่ได้จากการทดลองตัดวัสดุ ได้มีการพบเป็นจำนวนมากที่อิทธิพลของความเร็วมีน้อยมากและไม่ต้องนำมาคิดได้ สามารถกำหนด $evt$ $evr$ และ $evf$ มีค่าเท่ากับศูนย์

สืบเนื่องจากไม่มีฐานข้อมูลค่าคงที่ที่ตรงกันเงื่อนไขข้างต้น ในการคำนวณแรงดังนั้นจึงใช้ค่าจากฐานข้อมูลที่ใกล้เคียงแทนในกรณีนี้ใช้ ข้อมูลจากข้อมูลลำดับที่ 2
ค่าคงที่ต่างๆ คือ

$e0t$ = 3.1277
$eft$ = 0.7078
$edt$ = 1.1773
$e0r$ = 3.3442
$efr$ = 0.7983
$edr$ = 0.9556
$e0f$ = 2.7217
$eff$ = 0.554
$edf$ = 1.4587

$F_{\tan g} = 10^{3.1277} v^0 3^{0.7078} 1.5^{1.1773}$ =4706.72 N
$F_{rad} = 10^{3.3442} v^0 3.0^{0.7983} 1.5^{0.9556}$ = 7822.73 N
$F_{feed} = 10^{2.7217} v^0 3.0^{0.554} 1.5^{1.4587}$ = 1749.40 N

ค่าคงที่สำหรับการคิดคำนวณแรงสำหรับวัสดุและใบมีดแต่ละชนิดได้รวบรวมแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนมีค่าเท่ากับ

$$P = \frac{(v \times F_{tang})}{60}$$

เมื่อ $P$ = กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน (Watt)

$v$ = ความเร็วในการตัด (m/min)

$F_{tang}$ คือแรงในแนวแกนมีค่าเท่ากับ 4706.72 N

กรณีเป้าหมายคือ ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

$$P = \frac{13.6 \times 4706.72}{60} = 1066.9 \text{ Watt}$$

$$= 1.0669 \text{ kw}$$

$$= \frac{1.0669}{745.7} = 1.4307 \text{ HP}$$

กรณีเป้าหมายคือ เวลาต่อชิ้นต่ำสุด

$$P = \frac{39.8 \times 4706.72}{60} = 3122.1 \text{ Watt}$$

$$= 3.1221 \text{ kw}$$

$$= \frac{3.1221}{745.7} = 4.1868 \text{ HP}$$

แรงบิด (Torque)

$$Torque = \frac{F_{tang} \times D}{2}$$

เมื่อ $F_{tang}$ คือแรงในแนวแกนมีค่าเท่ากับ 4706.72 N

$D$ คือเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน (m)

$$Torque = \frac{4706.72 \times 100 \times 10^{-3}}{2} = 235.336 \text{ N-m}$$

อายุคมมีด (tool life)

กรณีตัวอย่างนี้สมการอายุคมมีดคือ $T = 2.6 \times 10^{8} \times v^{-4.3} \times f^{-2.7} \times d^{-1.5}$

กรณีเป้าหมายคือ ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

$$T = 2.6 \times 10^{8} \times 13.6^{-4.3} \times 3.0^{-2.7} \times 1.5^{-1.5}$$

$$T = 97.36 \text{ min}$$

กรณีเป้าหมายคือ เวลาต่อชิ้นต่ำสุด

$$T = 2.6 \times 10^{8} \times 39.8^{-4.3} \times 3.0^{-2.7} \times 1.5^{-1.5}$$

$$T = 0.9619 \text{ min}$$

เวลาที่ใช้ในการกลึงปอกแต่ละครั้ง (machining time)

$$\text{machining time (min)} = \frac{Worklength}{v \times f}$$

เมื่อ Work length คือความยาวของชิ้นงาน (mm)

$v$ คือความเร็วรอบในการตัด (rev/min)

$f$ คืออัตราการป้อน (mm/rev)

กรณีตัวอย่างกำหนดใช้ชิ้นงานยาว 300 mm

กรณีเป้าหมายคือ ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

$$\text{machining time} = \frac{300}{(43.3 \times 3.0)} = 2.31 \ \text{min}$$

กรณีเป้าหมายคือ ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

$$\text{machining time} = \frac{300}{(126.7 \times 3.0)} = 0.789 \ \text{min}$$

จากผลการคำนวณข้างต้นจะพบได้ว่าคำตอบที่ได้สอดคล้องกับผลการคำนวณซึ่งได้จากโปรแกรม OCT Version 1.0

## 4.2 การทดลองนำค่าที่ได้จากโปรแกรมไปทดลองปฏิบัติในสภาวะการทำงานจริง

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองนำผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม OCT Version 1.0 ไป ทดลองปฏิบัติในสภาวะการทำงานจริง คือทดลองกลึงปอกชิ้นงาน carbon steel AISI 1045 ซึ่งเป็นเหล็กที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด โดยใช้มีด uncoated carbide insert เกรด P25 ในระบบ ISO ซึ่งเป็นมีดที่ใช้กลึงเหล็กทั่วๆ ไป สภาวะการกลึงปอกจะกลึงโดยไม่ใช้น้ำยาหล่อเย็น

<u>ผลการคำนวณจากโปรแกรม</u>

โปรแกรม OCT Version 1.0 มีฐานข้อมูลอายุคมมีด uncoated carbide insert เกรด P25 สำหรับชิ้นงาน carbon steel AISI 1045 สำหรับสภาวะ กลึงโดยไม่ใช้น้ำยาหล่อเย็นอยู่ 2 ชุด โดยมีเกณฑ์วัดอายุที่แตกต่างกันคือ กรณีที่ $VB_B = 0.30mm$ กับกรณีที่ $KT = 0.11mm$

โดยค่าต่างๆ ที่ป้อนให้กับโปรแกรมจะใช้ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในตอนแรก โดยที่อัตราการป้อนของเครื่องจักรจะอยู่ในช่วง 0.150-0.180 mm/rev ส่วนความเร็ว อยู่ในช่วง 5-500 m/min โดยความลึกในการตัดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.143 mm

ตาราง 4.4 ผลการคำนวณค่าความเร็วและอัตราการป้อนที่ได้จากโปรแกรม OCT Version 1.0

| กรณี | ความเร็ว (m/min) | | อัตราการป้อน (mm/rev) | | อายุคมมีด (min) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | optimum cost | optimum time | optimum cost | optimum time | optimum cost | optimum time |
| $VB_B = 0.30mm$ | 151 | 319 | 0.180 | 0.180 | 152.77 | 1.49 |
| $KT = 0.11mm$ | 171 | 482 | 0.180 | 0.180 | 100.92 | 1.00 |

ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมนี้ ได้ลองนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วและอัตราการป้อนที่ได้แนะนำจาก machining data handbook กรณีชิ้นงานเป็นเหล็ก medium carbon 1045 มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 175-225 Bhn ใบมีดเป็น uncoated carbide insert เกรด P25 พบว่าค่าความเร็วและอัตราการป้อนที่แนะนำคือ 160 m/min และ 0.180 mm/rev ตามลำดับ ซึ่งค่าที่แนะนำปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ในกรณีที่เป้าหมายของการตัดเพื่อให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimum cost per piece)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

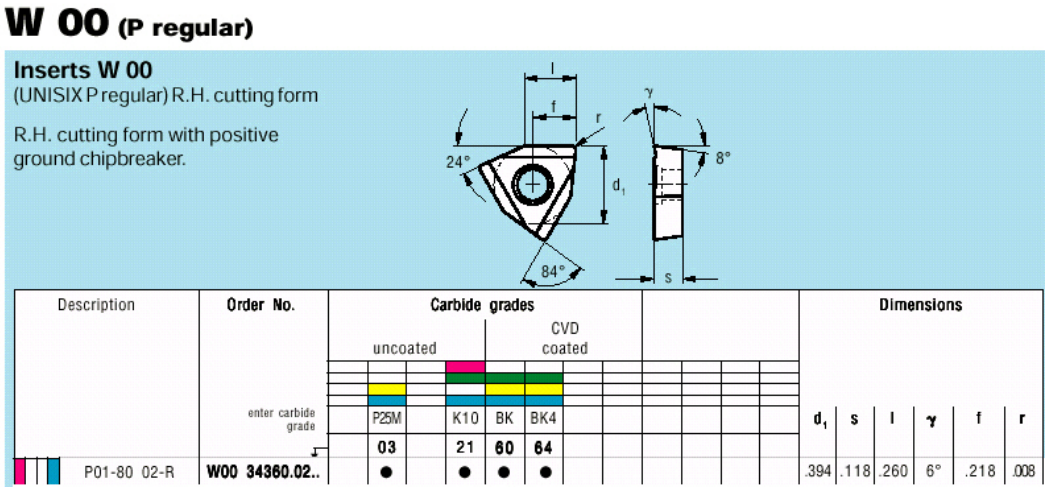
1. วัสดุชิ้นงานที่ใช้เป็นเพลาเหล็ก carbon steel AISI 1045 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ยาว 120 mm มีการเจาะรูขนานกับแกน มีแท่งยึด (mandrel) อัดไว้แน่นด้านหัวของแท่งยึดถูกจัดยึดด้วย chuck ของเครื่องกลึง ด้านหางของแท่งถูกจับยึดด้วย live center ชิ้นงานได้ผ่านการทดสอบค่าความแข็งโดย Brinell hardness tester โดยได้ทำการวัดค่า 5 จุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ที่ระยะทางต่างๆ บนเส้นรัสมีของชิ้นงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 184.91 สภาวะทางโลหะวิทยาจากการส่งชิ้นงานตัวอย่างไปทดสอบโดยใช้เทคนิค spark optical vacuum spectrometry มีปริมาณธาตุประกอบดังตารางที่ 4.5 โดยจากปริมาณธาตุประกอบที่ตรวจพบแสดงว่าเพลาเหล็กดังกล่าวมีคุณสมบัติสอดคล้องตรงตามมาตรฐาน AISI 1045

เอกสารรับรองผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแสดงไว้ใน ภาคผนวก ญ.

ตาราง 4.5 ปริมาณ ธาตุประกอบของชิ้นงาน carbon steel AISI 1045

| | ปริมาณธาตุ | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชิ้นงาน | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Cu | Sn | Ti | W |
| carbon steel AISI 1045 | 0.423 | 0.211 | 0.824 | 0.023 | 0.019 | 0.827 | 0.172 | 0.087 | 0.023 | 0.199 | 0.013 | 0.023 | 0.011 |

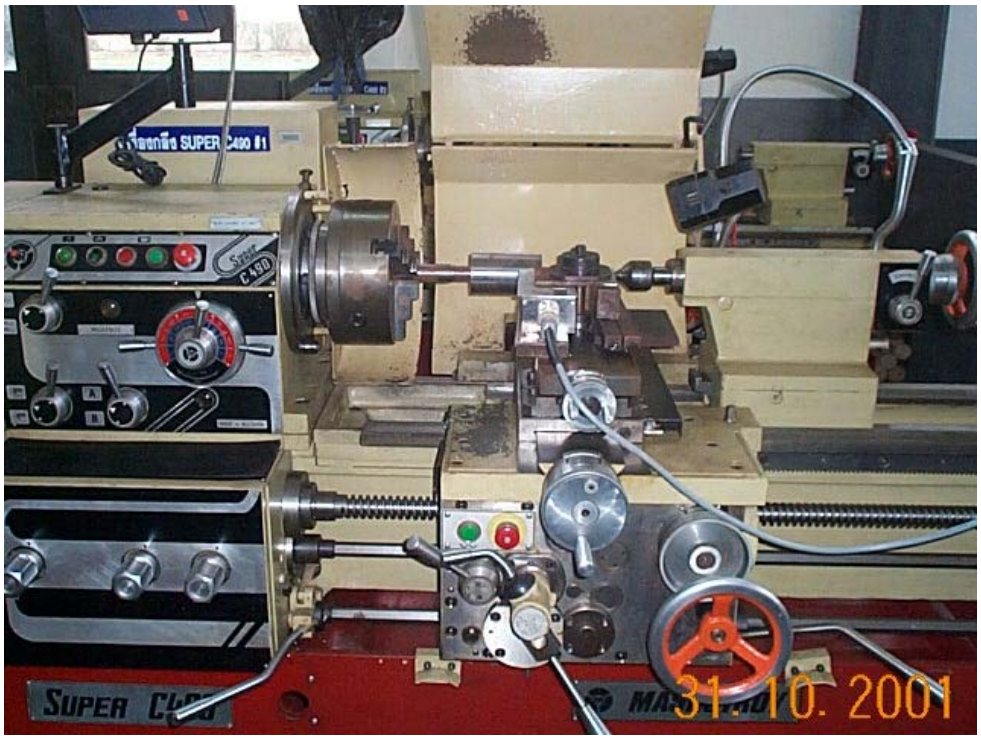
2. ใบมีดที่ใช้เป็นใบมีด uncoated carbine insert เกรด P25 ในระบบ ISO ยี่ห้อ Komet รายละเอียดของมุมมีดต่างๆ ดังภาพประกอบ 4.11




ภาพประกอบ 4.11 รายละเอียดของมุมมีด uncoated carbide insert เกรด P25

3. ด้ามมีดที่ใช้ยี่ห้อ Komet รหัส XD20 02410

4. เครื่องกลึงที่ใช้เป็นเครื่องกลึงที่ปรับความเร็วรอบอัตโนมัติยี่ห้อ Mashstroy-Troyan Model Super C490 ดังภาพประกอบ 4.12




ภาพประกอบ 4.12 เครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง

5. เครื่องวัดแรง (lathe tool-dynamometor ) ยี่ห้อ Horstmann รุ่น 3 KSN ดังภาพประกอบ 4.13

ภาพประกอบ 4.13 เครื่องวัดแรง

6. เครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-301 ดังภาพประกอบ 4.14

ภาพประกอบ 4.14 เครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิว

<u>วิธีการดำเนินการทดลอง</u>

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด สำหรับทำการทดสอบกลึงปอกชิ้นงาน carbon steel AISI 1045 โดยใช้มีด uncoated carbide insert เกรด P25 โดยการทดลองแต่ละชุดจะตั้งความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด ดังตารางที่ 4.6 โดยจะนำชิ้นงานมาหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง แล้วนำมาคำนวณหาความเร็วตัดเป็นจำนวนรอบต่อนาที และขณะที่ทำการตัดก็วัดค่าแรงทั้ง 3 แนว หลังจากตัดเสร็จในแต่ละรอบก็จะวัดความขรุขระของพื้นผิว ทำการทดลองแต่ละการทดลองซ้ำ 9-10 รอบ หรือจนกว่าใบมีดเกิดการแตกหัก เมื่อทดลองเสร็จในแต่ละชุดการทดลองก็ให้เปลี่ยนใบมีดใหม่ ผลการทดลองการทดลองที่ 1 - 4 ดังตาราง 4.7 - 4.10 ตามลำดับ

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสะสมที่ใช้ตัด กับความขรุขระและแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสะสมที่ใช้ตัด กับแรงในการตัดของชุดการทดลองที่ 1 - 2 ดังภาพประกอบ 4.15 - 4.18

ใบมีดก่อนการทดลอง ดังภาพประกอบ 4.19 ใบมีดหลังการทดลองที่ 1-4 ดังภาพประกอบ 4.20 - 4.23 ตามลำดับ

ตาราง 4.6 ค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดของการทดลองแต่ละชุด

| ชุดการทดลองที่ | ความเร็วในการตัด (m/min) | อัตราการป้อน (mm/rev) | ความลึกในการตัด (mm) |
|---|---|---|---|
| 1. optimum cost $VB_B = 0.30mm$ | 151 | 0.180 | 1.143 |
| 2. optimum cost $KT = 0.11mm$ | 171 | 0.180 | 1.143 |
| 3 .optimum time $VB_B = 0.30mm$ | 319 | 0.180 | 1.143 |
| 4. optimum time $KT = 0.11mm$ | 482 | 0.180 | 1.143 |

ผลการทดลองที่ 1 ดังตาราง 4.7 และ ภาพประกอบ 4.15-4.16 พบว่าจากสภาวะในการตัด โดยใช้ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดดังกล่าวสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง แรงขณะทำการทดลองโดยเฉพาะแรง $F_{\tan g}$ มีค่าเฉลี่ย 388.89 N ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะ $R_a$ มีค่าเฉลี่ย 9.99 $\mu m$ ใช้เวลารวมในการตัด 103.75 นาที ใบมีดเกิดการสึกหรอเล็กน้อยบริเวณคมตัด

ผลการทดลองที่ 2 ดังตาราง 4.8 และ ภาพประกอบ 4.17-4.18 พบว่าจากสภาวะในการตัด โดยใช้ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดดังกล่าวสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง แรงขณะทำการทดลองโดยเฉพาะแรง $F_{\tan g}$ มีค่าเฉลี่ย 360 N ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะ $R_a$ มีค่าเฉลี่ย 10.18 $\mu m$ ใช้เวลารวมในการตัด 120.59 นาที ใบมีดเกิดการสึกหรอเล็กน้อยบริเวณคมตัด

ผลการทดลองที่ 3 ดังตาราง 4.9 พบว่าจากสภาวะในการตัด โดยใช้ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดดังกล่าวสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง แรงขณะทำการทดลองโดยเฉพาะแรง $F_{\tan g}$ มีค่าเฉลี่ย 420 N ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะ $R_a$ มีค่าเฉลี่ย 7.79 $\mu m$ ใช้เวลารวมในการตัด 16.66 นาที ใบมีดเกิดการแตกหักบริเวณคมตัด

ผลการทดลองที่ 4 ดังตาราง 4.10 พบว่าจากสภาวะในการตัด โดยใช้ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดดังกล่าวสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง แรงขณะทำการทดลองโดยเฉพาะแรง $F_{\tan g}$ มีค่าเฉลี่ย 460 N ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะ $R_a$ มีค่าเฉลี่ย 15.90 $\mu m$ ใช้เวลารวมในการตัด 7.84 นาที ใบมีดเกิดการแตกหักบริเวณคมตัด

ผลการทดลอง

ตาราง 4.7 ผลการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1

| จำนวนรอบ | ความขรุขระ ( $\mu m$ ) | | | แรงในการตัด (N) | | | machining time (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_t$ | $R_a$ | $R_q$ | $F_{\tan g}$ | $F_{feed}$ | $F_{rad}$ | |
| 1 | 43.00 | 7.85 | 9.17 | 380 | 120 | 180 | 11.22 |
| 2 | 71.33 | 13.00 | 15.45 | 440 | 180 | 180 | 11.01 |
| 3 | 84.58 | 16.11 | 18.68 | 400 | 160 | 120 | 10.76 |
| 4 | 43.81 | 8.80 | 9.97 | 400 | 140 | 100 | 10.41 |
| 5 | 38.09 | 8.65 | 9.59 | 400 | 120 | 120 | 10.18 |
| 6 | 44.23 | 7.92 | 8.85 | 440 | 140 | 100 | 9.93 |
| 7 | 50.53 | 8.93 | 10.48 | 440 | 140 | 120 | 9.63 |
| 8 | 45.55 | 8.76 | 10.10 | 440 | 160 | 120 | 9.35 |
| 9 | 55.05 | 9.92 | 11.46 | 160 | 160 | 120 | 9.04 |
| | | | | | | | Total time 103.75 |

ตาราง 4.8 ผลการทดลอง ชุดการทดลองที่ 2

| จำนวนรอบ | ความขรุขระ ( $\mu m$ ) | | | แรงในการตัด (N) | | | machining time (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_t$ | $R_a$ | $R_q$ | $F_{\tan g}$ | $F_{feed}$ | $F_{rad}$ | |
| 1 | 38.50 | 8.30 | 9.63 | 340 | 80 | 80 | 11.67 |
| 2 | 63.55 | 9.63 | 11.33 | 340 | 100 | 80 | 11.55 |
| 3 | 51.89 | 10.42 | 12.02 | 380 | 100 | 100 | 11.34 |
| 4 | 41.25 | 8.35 | 9.53 | 400 | 140 | 160 | 10.86 |
| 5** | 91.05 | 14.83 | 17.91 | 340 | 80 | 100 | 10.76 |
| 6 | 49.06 | 7.94 | 9.53 | 340 | 100 | 100 | 10.58 |
| 7 | 50.59 | 8.57 | 10.29 | 380 | 120 | 160 | 10.41 |
| 8 | 56.91 | 9.09 | 11.04 | 400 | 140 | 180 | 10.21 |
| 9 | 56.87 | 8.91 | 10.58 | 320 | 100 | 100 | 10.09 |
| 10 | 90.17 | 15.73 | 18.73 | 360 | 100 | 100 | 9.94 |
| | | | | | | | Total time 120.59 |

** หมายเหตุ ผิวขรุขระจนผิดสังเกต

ตาราง 4.9 ผลการทดลองชุดการทดลองที่ 3

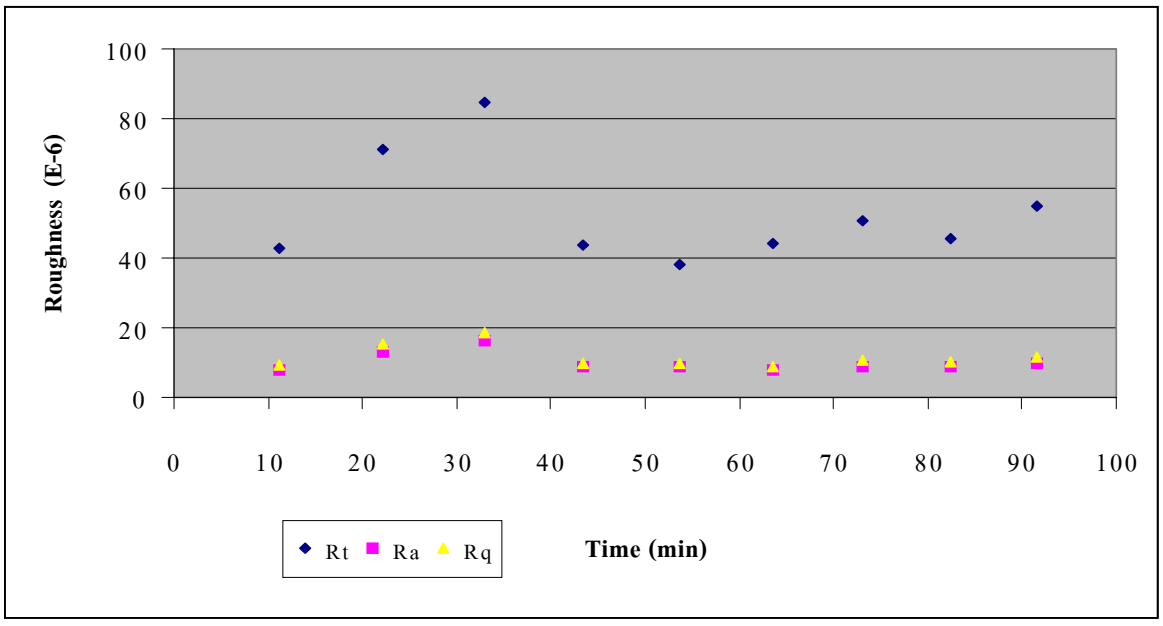
| จำนวนรอบ | ความขรุขระ ( $\mu m$ ) | | | แรงในการตัด (N) | | | machining time (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_t$ | $R_a$ | $R_q$ | $F_{\tan g}$ | $F_{feed}$ | $F_{rad}$ | |
| 1 | 35.78 | 6.64 | 7.85 | 400 | 120 | 40 | 5.69 |
| 2 | 49.37 | 8.93 | 10.54 | 440 | 140 | 90 | 5.55 |
| 3* | - | - | - | 140 | 100 | 660 | 5.42 |
| | | | | | | | Total time 16.66 |

* หมายเหตุ ใบมีดแตก

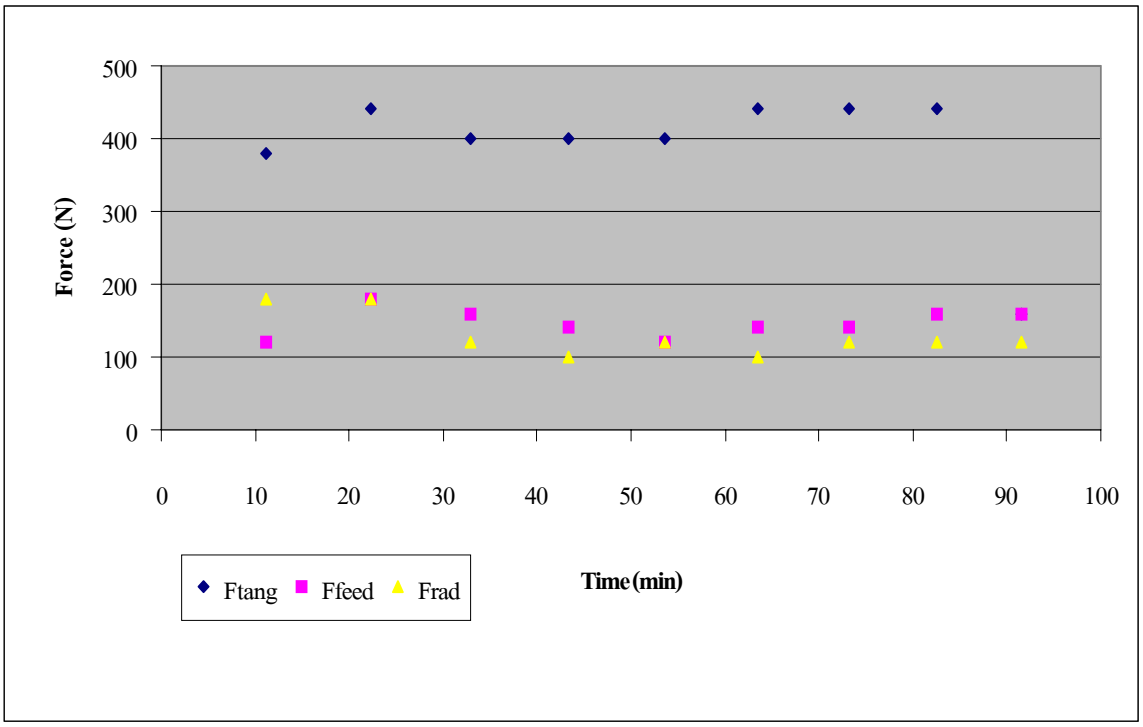
ตาราง 4.10 ผลการทดลองชุดการทดลองที่ 4

| จำนวนรอบ | ความขรุขระ ( $\mu m$ ) | | | แรงในการตัด (N) | | | machining time (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_t$ | $R_a$ | $R_q$ | $F_{tang}$ | $F_{feed}$ | $F_{rad}$ | |
| 1 | 77.14 | 8.82 | 11.07 | 420 | 100 | 100 | 3.97 |
| 2* | 113.4 | 22.97 | 26.99 | 500 | 140 | 140 | 3.87 |
| | | | | | | | Total time 7.84 |

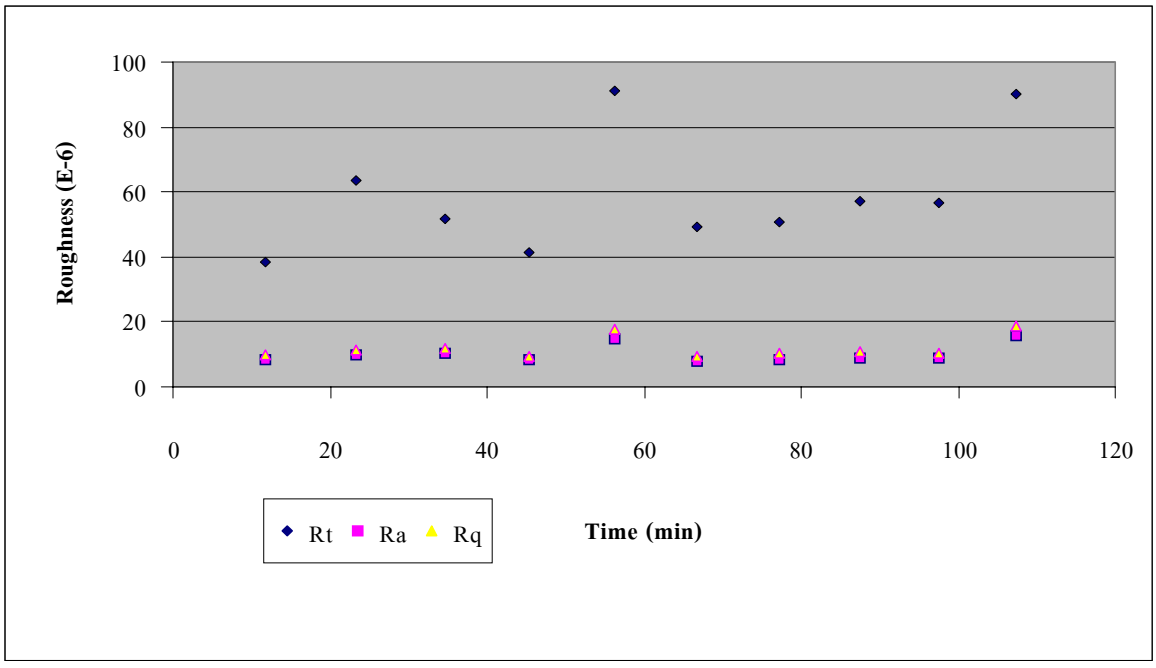
* หมายเหตุ ใบมีดแตก



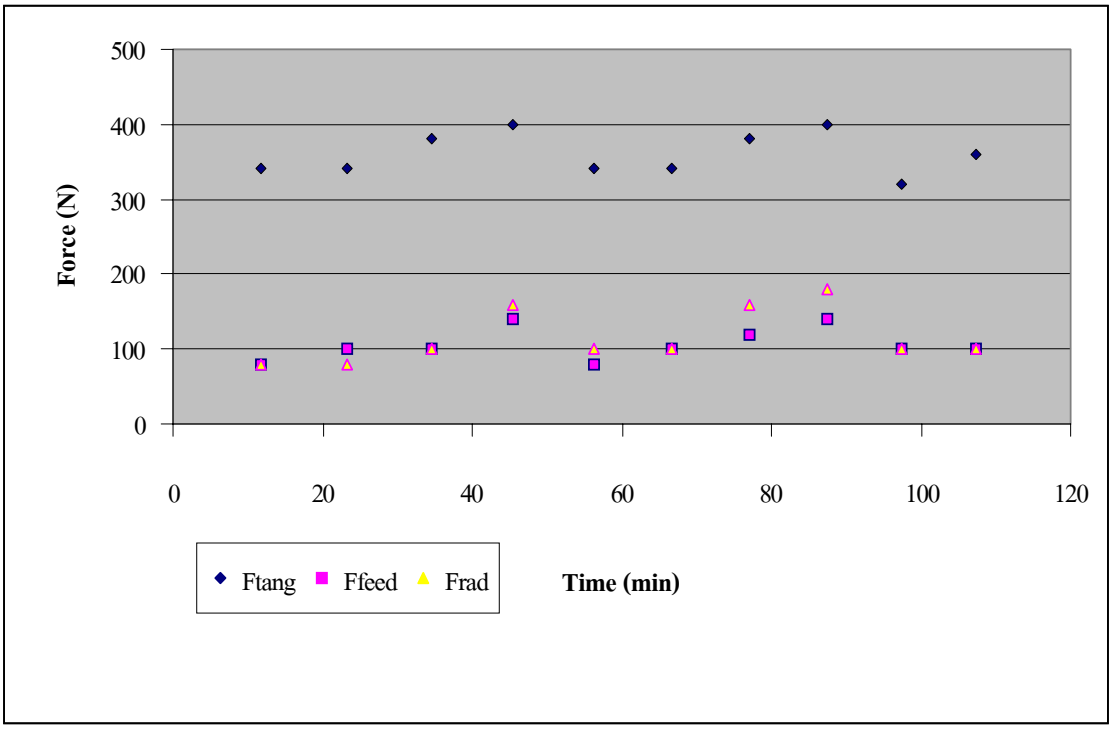

ภาพประกอบ 4.15 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสะสมที่ใช้ตัดกับความขรุขระของชุดการทดลองที่ 1



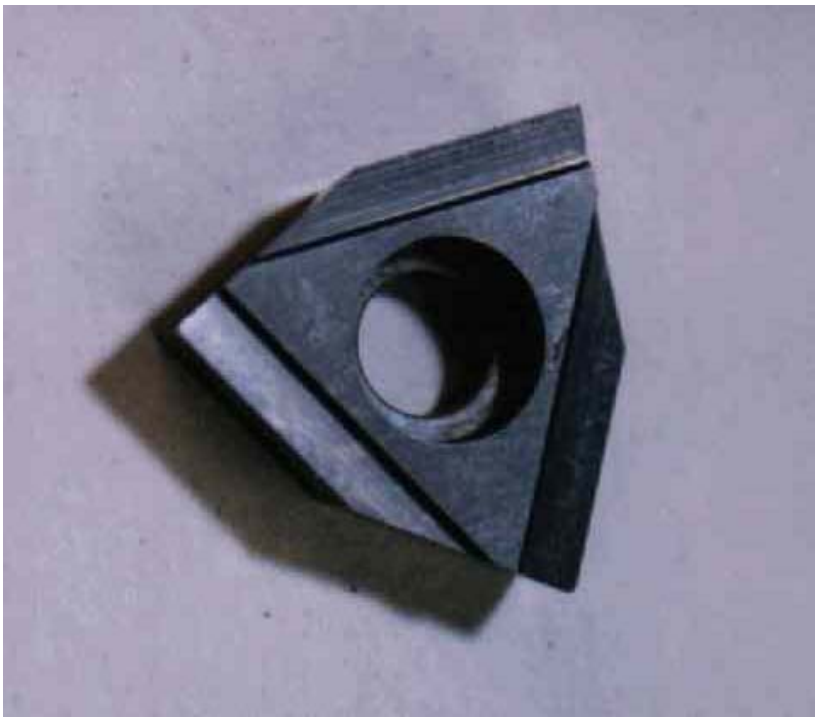

ภาพประกอบ 4.16 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสะสมที่ใช้ตัดกับแรงในการตัดของชุดการทดลองที่ 1




ภาพประกอบ 4.17 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสะสมที่ใช้ตัดกับความขรุขระของชุดการทดลองที่ 2




ภาพประกอบ 4.18 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสะสมที่ใช้ตัดกับแรงในการตัดของชุดการทดลองที่ 2



ภาพประกอบ 4.19 ใบมีดก่อนทำการทดลอง

ภาพประกอบ 4.20 ใบมีดภายหลังทดลอง การทดลองชุดที่ 1

ภาพประกอบ 4.21 ใบมีดภายหลังทดลอง การทดลองชุดที่ 2

ภาพประกอบ 4.22 ใบมีดภายหลังทดลอง การทดลองชุดที่ 3

ภาพประกอบ 4.23 ใบมีดภายหลังทดลอง การทดลองชุดที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการนำผลการคำนวณของโปรแกรม OCT Version 1.0 ไปลองปฏิบัติจริง ปรากฏผลว่ากรณีที่กำหนดเป้าหมายของการตัดเพื่อให้ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด (minimum cost per piece) ทั้งกรณีเกณฑ์วัดอายุคมมีด $VB_B = 0.30mm$ และ $KT = 0.11mm$ พบว่าค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกดังกล่าวสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง ค่าความขรุขระ และแรงในการตัดก็ไม่สูงจนเกินไป รวมถึงอายุคมมีดในทางปฏิบัติก็มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ โดยการเสื่อมสภาพของใบมีดจะเกิดลักษณะการสึกหรอเล็กน้อยบริเวณคมตัดของใบมีด

ส่วนกรณีที่กำหนดเป้าหมายของการตัดเพื่อให้เวลาต่อชิ้นต่ำสุด (minimum time per piece) ทั้งกรณีเกณฑ์วัดอายุคมมีด $VB_B = 0.30mm$ และ $KT = 0.11mm$ พบว่าค่าความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกดังกล่าวก็ยังสามารถปฏิบัติได้จริง ค่าความขรุขระ และแรงในการตัดก็ไม่สูงจนเกินไป อายุคมมีดจะมีระยะเวลาสั้นใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ โดยการเสื่อมสภาพของใบมีดจะเกิดในลักษณะการแตกหักบริเวณคมตัด