การศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะที่สุดระหว่างมีดตัดคาร์ไบด์และมีดตัดเซ็ต

นายไลว สุขวิทยาวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2534

ISBN 974-578-500-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017962

i 10314003

A Study of Optimum Cutting Conditions between Carbide and Coated Cutting Tools

Mr. Sawai Sukvittayawong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1991

ISBN 974-578-500-8

Thesis Title	A Study of Optimum Cutting Conditions between Carbide and Coated Cutting Tools
By	Mr. Sawai Sukvittayawong
Department	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Kitti Intaranont

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

Thavorn Vajrabhaya ..... Dean of Graduate School

(Professor Thavorn Vajrabhaya)

Thesis Committee

Charoon Mahittafongkul ..... Chairman

(Associate Professor Charoon Mahittafongkul)

Kitti Intaranont ..... Thesis Advisor

(Associate Professor Dr. Kitti Intaranont)

Vijit Tantasuth ..... Member

(Associate Professor Dr. Vijit Tantasuth)

..... Member

(Associate Professor Somchai Puangphuaksook)

C. Malila ..... Member

(Associate Professor Cha-um Malila)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ไสว สุขวิทยาวงษ์ : การศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะที่สุดระหว่างมีดตัดคาร์ไบด์และมีดตัดโค๊ต (A STUDY OF OPTIMUM CUTTING CONDITIONS BETWEEN CARBIDE AND COATED CUTTING TOOLS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.กิตติ อินทรานนท์, 83 หน้า.
ISBN 974-578-500-8

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาหาสภาวะการตัดที่เหมาะที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วในการตัด และอัตราการป้อนตัดระหว่างมีดตัดคาร์ไบด์และมีดตัดโค๊ต ที่ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการตัดต่อชิ้นงานต่ำที่สุด พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตัดของมีดทั้งสอง

การวิจัยได้ใช้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็ก AISI 1045 ณ จุดสภาวะการตัดหนึ่ง ๆ ได้ทำการศึกษาความสึกหรอและอายุการใช้งานของมีดตัด เพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการตัดต่อชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการพิจารณาหาสภาวะการตัดที่ดีกว่าด้วยวิธีการของ Optimum Gradient Method จนกระทั่งสามารถกำหนดสภาวะการตัดที่เหมาะที่สุด ที่ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการตัดต่ำที่สุด

จากการทดลองโดยใช้มีดตัดคาร์ไบด์ แสดงให้เห็นว่า สภาวะการตัดที่เหมาะที่สุด คือมีความเร็วในการตัด 172 เมตร/นาที และอัตราการป้อนตัด 0.5146 มม./รอบ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการตัด 9.39 บาท/ชิ้น สำหรับมีดตัดโค๊ต มีค่าใช้จ่ายในการตัด 8.83 บาท/ชิ้น และสภาวะการตัดที่เหมาะที่สุด คือ ความเร็วในการตัด 185 เมตร/นาที และอัตราการป้อนตัด 0.4994 มม./รอบ การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตัดของมีดทั้งสอง พบว่า การตัดด้วยมีดตัดโค๊ต มีค่าใช้จ่ายในการตัดน้อยกว่าการตัดด้วยมีดตัดคาร์ไบด์

จากการทดสอบอายุการใช้งานโดยตรงของมีดตัดทั้งสอง ณ จุดสภาวะการตัดที่เหมาะที่สุด พบว่าด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 วิธีที่เสนอสามารถใช้ในการทดสอบหาอายุการใช้งานของมีดตัดได้อย่างถูกต้อง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ไสว สุขวิทยาวงษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

SAWAI SUKVITTAYAWONG : A STUDY OF OPTIMUM CUTTING CONDITIONS BETWEEN CARBIDE AND COATED CUTTING TOOLS. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. KITTI INTARANONT, Ph.D. 83 PP. ISBN 974-578-500-8

This research was to study optimum cutting conditions, i.e., cutting speeds and feed rates, between carbide and coated cutting tools in which the machining cost per workpiece was minimized. Then, the machining costs per workpiece using both the cutting tools were compared.

Experiments were performed using the work material of AISI 1045. At a cutting condition, the tool wear and tool life were tested and the machining cost per workpiece was calculated. Then, the better cutting conditions were determined using the Optimum Gradient Method. The search was continued until the optimum cutting conditions were reached.

The experimental results using the carbide cutting tools showed that the optimum cutting conditions were 172 m/min cutting speed and 0.5146 mm/rev feed rate and the machining cost was 9.39 baht/workpiece. For coated cutting tools, the machining cost was 8.83 baht/workpiece and the optimum cutting conditions were 185 m/min cutting speed and 0.4994 mm/rev feed rate. The comparison of the machining cost per workpiece using both the cutting tools was found that the coated cutting tool produced less the machining cost per workpiece than that of the carbide cutting tool.

The conventional tool life tests of both the cutting tools at the optimum cutting conditions showed that this proposed method can correctly test the tool life at 5% significant level.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 1990

ลายมือชื่อนิสิต ไสว สุขวิทยางษ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

Acknowledgments

To Associate Professor Dr.Kitti Intaranont, and Professor Dr.Ichiro Inasaki, my research advisors, I wish to express my sincere thanks and appreciation for their advice and guidance throughout both this investigation, and my stay in Japan. Their concern and support throughout all stages of this study greatly contributed to the success of my research.

I wish to thank Associate Professor Charoon Mahittafongkul, Associate Professor Dr.Vijit Tantasuth, Associate Professor Somchai Puangphuaksook, and Associate Professor Cha-um Malila, the referees of this thesis for their support and their stimulating suggestions.

Furthermore, I would like to thank Associate Professor Dr.Tojiro Aoyama for his support in solving all administrative problems which occurred during my stay at Keio University.

Moreover, I would like to thank the students of Professor Inasaki's laboratory, and in particular Dr.Thomas Blum who taught me how to use the lab equipment, and for his help with the mathematical problems in this research.

Last but not least, I say thank you to my friend Paul Blus who patiently proof read this thesis.

Finally, I would like to acknowledge the financial support of the Janpanese Government (Monbusho).

Contents

Abstract in Thai..... V

Abstract in English..... VI

Achnowledgments..... VII

List of Figures..... VIII

List of Tables..... X

List of Symbols..... XII

Chapter

1. Introduction..... 1
2. Tool Wear and Tool Life..... 6
3. Search Strategy..... 19
4. Problem Definition..... 29
5. The Experiments..... 35
6. Experimental Results..... 46
7. Conclusions..... 62

References..... 64

Appendix..... 66

Vita..... 83

List of Figures

Chapter 1

Fig. 1.1 Structure of adaptive control 2

Chapter 2

Fig. 2.1 Regions of tool wear in metal cutting 8

Fig. 2.2 Development of flank wear with time at a cutting speed of 1 m/s 9

Fig. 2.3 Some features of single point tool wear in turning operations 11

Fig. 2.4 Typical styles of clamped on inserts tools 16

Chapter 3

Fig. 3.1 Response surface for IP as a function of X_1 ,and X_2 22

Fig. 3.2 Fortorial experiments to estimate the gradient 26

Chapter 5

Fig. 5.1 Tool shank with the AE-sensor mounted inside 37

Fig. 5.2 Kistler table dynamometer utilized 37

Fig. 5.3 Experimental set-up 38

Fig. 5.4 Flow chart of the utilized software 39

Fig. 5.5 Flow chart of the optimum gradient method 40

Fig. 5.6 Fortorial experiments of cutting speed and feed rate to estimate the gradient 41

Chapter 6

Fig. 6.1 Trajectory of carbide tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 46

Fig. 6.2 Trajectory of carbide tool at the starting condition 170 m/min cutting speed and 0.40 mm/rev feed rate 48
Fig. 6.3 Trajectory of carbide tool at the starting condition 180 m/min cutting speed and 0.50 mm/rev feed rate 49
Fig. 6.4 Three trajectories of carbide tool at the different starting condition 50
Fig. 6.5 Trajectory of coated tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 52
Fig. 6.6 Trajectories of carbide and coated tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 54
Fig. 6.7 Conventional wear tests of carbide tool at the optimum cutting condition 56
Fig. 6.8 Conventional wear tests of coated tool at the optimum cutting condition 57

Appendix A.

Fig. A.1 NC turning machining (Okuma LB10 CV-12) 66
Fig. A.2 Micro camera VC-820 66

Table B.9 Results (1) using carbide tool at the starting condition 170 m/min cutting speed and 0.40 mm/rev feed rate 75
Table B.10 Results (2) using carbide tool at the starting condition 170 m/min cutting speed and 0.40 mm/rev feed rate 75
Table B.11 Results (1) using carbide tool at the starting condition 180 m/min cutting speed and 0.50 mm/rev feed rate 76
Table B.12 Results (2) using carbide tool at the starting condition 180 m/min cutting speed and 0.50 mm/rev feed rate 76
Table B.13 Results (1) using coated tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 77
Table B.14 Results (2) using coated tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 78
Table B.15 Conventional wear test using carbide cutting tool at 172 m/min cutting speed and 0.5146 mm/rev feed rate 79
Table B.16 Conventional wear test using coated cutting tool at 185 m/min cutting speed and 0.4994 mm/rev feed rate 79

Appendix C.

Table C.1 Analysis of variance of the lack of fit for carbide cutting tool 80
Table C.2 Analysis of variance of the lack of fit for coated cutting tool 80
Table C.3 Hypothesis testing in linear wear model 81

List of Tables

Chapter 5

Table 5.1 Machining cost calculation 43

Table 5.2 Gradient calculation 44

Chapter 6

Table 6.1 Minimum machining costs and corresponding production times for a rough-turning operation using carbide and coated tool 53

Appendix B.

Table B.1 Machining cost per workpiece at 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 67

Table B.2 Machining cost per workpiece at 155 m/min cutting speed and 0.18 mm/rev feed rate 68

Table B.3 Machining cost per workpiece at 165 m/min cutting speed and 0.22 mm/rev feed rate 69

Table B.4 Machining cost per workpiece at 165 m/min cutting speed and 0.18 mm/rev feed rate 70

Table B.5 Machining cost per workpiece at 155 m/min cutting speed and 0.22 mm/rev feed rate 71

Table B.6 Gradient calculation at 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 72

Table B.7 Results (1) using carbide tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 73

Table B.8 Results (2) using carbide tool at the starting condition 160 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rate 74

List of Symbols

a	: exponent of feed rate
AC	: Adaptive Control
ACC	: Adaptive Control Constraint
ACO	: Adaptive Control Optimization
AE	: Acoustic Emission
C	: constant in tool life equation
C_i	: machining cost per workpiece used to explain in graph (baht/workpiece)
D	: workpiece diameter (mm)
D_p	: direction of gradient
E	: total cutting edges on tool insert (edges)
F	: feed rate (mm/rev)
G_{1p}, G_{2p}	: components of the gradient in the X_1 and X_2 directions respectively
G_{Fp}	: feed rate gradient
G_p	: gradient vector
G_{vp}	: cutting speed gradient
H_0	: null hypothesis
H_1	: alternative hypothesis
i, j	: unit vectors parallel to the X_1 and X_2 axes
IP	: index of performance
KT	: crater depth
L	: workpiece lenght (mm)
L_1	: before and after cut length (mm)
M_p	: magnitude of gradient
MCPW	: machining cost per workpiece (baht/workpiece)
MR	: machining operation rate (baht/min)

MT : actual machining time (min/workpiece)

n : exponent of tool life

N : number of workpiece per cutting edge (workpieces/cutting edge)

P : price of insert (baht/piece)

SM : size of the step move

t : cutting time (min)

T : tool life in Taylor's equation (min)

TC : tool cost per cutting edge (baht/cutting edge)

TCT : tool changing time (min/cutting edge)

TFT : total tool feed time (min/workpiece)

TL : tool life (min)

V : cutting speed (m/min)

VB : average width of flank wear at the central of the active cutting edge

VB_{max} : maximum width of flank wear

VC : width of flank wear at the tool corner

VN : width of flank wear at the wear notch

W : flank wear lavel at time t (min)

W_0 : initial wear level (mm)

W_1 : first cut wear (mm)

W_2 : second cut wear (mm)

W_R : wear rate (mm/min)

WCT : work changing time (min/workpiece)

WF : wear level at tool failure (mm)

WR : wear rate per workpiece (mm)

x_1 , x_2 : inputs or independent variables

$\triangle X_i$: difference in the independent variable X_i

Z : index of performance or dependent variable

Z_i : values of the IP at the four experimental points (i=1,2,3,4)