

CM17

CX1709

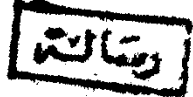
A STUDY ON SHAPES PROCESSED  
BY  
ELECTROCHEMICAL MACHINING

THESIS  
SUBMITTED FOR THE DEGREE  
OF  
DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN  
MECHANICAL ENGINEERING



7155

BY  
*Samy Jimmy Samy Elaid*  
B.Sc.Eng. (Hons.), M.Sc.Eng.



TO THE  
FACULTY OF ENGINEERING  
AIN SHAMS UNIVERSITY

OCTOBER 1975

660.2

S.2

C117  
C21709  
A STUDY ON SHAPES PROCESSED

BY

ELECTROCHEMICAL MACHINING

THESIS

SUBMITTED FOR THE DEGREE

OF

DOCTOR OF PHILOSOPHY

IN

MECHANICAL ENGINEERING

BY

Elamy Jimmy Elamy Elaid

B.Sc. Eng. (Hons.), M.Sc. Eng.

TO THE

FACULTY OF ENGINEERING

AIN SHAMS UNIVERSITY

OCTOBER 1975



7155



660.2

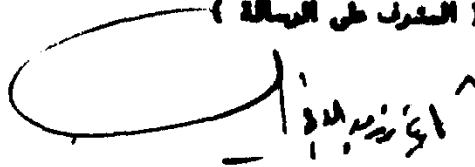
S.1



## EXAMINERS

1. Prof. Sabet Riskalla Ghabrial,  
Professor of Machine Design,  
Faculty of Engineering,  
Ein Shams University.  
(Supervisor)

٠١ الاستاذ الدكتور / ثابت رزق الله غبريال  
امتنان: تصميم الماكينات - كلية  
الهندسة - جامعة عين شمس  
( المشرف على الرسالة )



2. Prof. Salah El-Din Ahmed  
Bayoumy, Professor of  
Elasticity and Plasticity,  
Head of Mechanical Design  
and Production Department,  
Faculty of Engineering,  
Cairo University.

٠٢ الاستاذ الدكتور / صلاح الدين احمد بيومى  
امتنان: المرونة واللدونة - وهندسة  
تصميم الميكانيكى والانتاج - كلية  
الهندسة - جامعة القاهرة



3. Dr. Albert Stepanian,  
Associate Professor, delegated  
to El-Tabbin Metallurgical  
Institute for Higher Studies.

٠٣ الدكتور البرت ستانيان  
استاذ مشارك - معهد  
التبحر للدراسات العليا الهندسية



Trust in the Lord

with

All thine heart,

and

Learn not unto thine own understanding.

In

All thy ways acknowledge Him,

and

He shall direct thy paths.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The author wishes to express his sincere gratitude and deepest thanks to Professor Sabet R. Ghabrial, Professor of Machine Design, Faculty of Engineering, Ain Shams University, for his continuous help, great interest and valuable guidance throughout this work.

Thanks are also offered to engineer A. Salem, Manager of Factory 135, for his kindness in offering facilities in the use of the electrochemical machine.

The author is also indebted to all those who were helpful in producing the thesis in its present form.

## موجز

المعرض من هذا البحث هو إعطاء كل من بعض عدد القطع ومهندسين آخرين معلومات تحليلية كافية متعلقة بأشكال الأجزاء المصنعة لعدد القطع الكهروكيميائية. ولقد هذه الحاجة استخدمت الدوال المركبة للتنبؤ بأشكال الأجزاء المصنعة بالتآكل الكهروكيميائية لعدد القطع الدببة والدائرية. وطلبت أيضا للحالة المعقدة الحامض بالمقاطع الانسيابية لرئيس التوربينات. ومقارنة النتائج مع الطرق الأخرى التحليلية والمعملية أثبتت صحة وقوة استخدام مثل هذا التطبيق كأداة هامة لكل من مهندسي التصميم والانتاج في مجال التشغيل الكهروكيميائي.

ولقد دلت كل من النتائج التحليلية والمعملية لعدد القطع الدببة أن منطقة دوران تظهر في خلال زاوية معينة تعتمد على زاوية عدة القطع.

ولعدد القطع الدائرية أوضحت النتائج توافقا بين السطوح المشغلة وبين القطع خلال زاوية مقدارها  $140^\circ$  بغض النظر عن أي من مقاس عدة القطع أو خلوص القطع.

وللأشكال الانسيابية أوضحت النتائج أن القطع المتنبؤ تحليليا يتفق مع القطع المشغل عليها الا عند بداية ونهاية المقطع حيث يجب عمل تغييرات طفيفة.

وأضافة الى ذلك شملت الدراسة طريقة تحليلية مبسطة لانحراف الأشكال المصنعة بالطرق الكهروكيميائية متخذة في الاعتبار تغييرات معامل التوصيل الكهربائي لسائل القطع خلال الخلوص، مع افتراض أن كل من تأثير ارتفاع درجة الحرارة وتوليد الغاز لا يدرج في يؤثر على حدة. ولقد تناولت الدراسة التحليلية حالتى التشغيل المسطح والتشغيل الكروي. وقد قورنت نتائج هذه الدراسة المبسطة بنظائرها للطرق التحليلية المعقدة، وأوضحت المقارنة أخطاءا معقولا يبرر استخدامها عليها.

أوضحت النتائج أن الدقة المتوقعة للخلوص المسطح يمكن تقديرها بمعرفة خلوص الاتزان وسرعة السريان لمعامل توصيل كهربائي معين. ولمعدلات تشغيل معينة بخلوص معين يمكن الحصول على درجات دقة عالية عن طريقة زيـادة سرعة سريان السائل.

وللخلوص الكروي اتضح أن التغيرات الفعلية في معامل التوصيل  
الكهربي تعطى أشكال مطابقة أكثر لعدة القطع الكروية من الأشكال  
الناتجة في حالة افتراض نهوت معامل التوصيل الكهربي . وأولحمت  
النتائج أن درجة التطابق هنا لا تعتمد فقط على سرعة دوران السائل  
بل أيضا على معامل التشغيل الكهروكيميائي وسعة التغذية وقاس عدة  
القطع ونسبة الحجم .

وقد وضعت النتائج في شكل رموز بيانية ونوميرات لسهولة  
استخدامها بواسطة عدد القطع أو مهندس الإنتاج .



## SUMMARY

The object of this research is to provide an adequate analytical solution for the shapes processed by different ECM tools.

The concept of complex functions was applied for the prediction of shapes processed by ECM with various pointed and rounded tools. The application was further extended for the complex aerofoil shapes of blades. Comparison of results with other analytical and experimental methods proved the validity and powerfulness of such application as a useful tool for both design and production engineers in the field of electrochemical machining.

For pointed tools both analytical and experimental results indicate that a rounding-off action takes place along an angle depending on the tool angle.

For rounded tools the results show that conformity of processed shapes with original tools takes place on an angle of  $140^\circ$  irrespective of either tool or gap sizes.

For aerofoil shapes the results show that the analytically predicted shape agrees with the experimental one except at the leading and trailing edges where slight modifications are imperative.

Moreover, a simplified analytical treatment for estimating the out of conformity of shapes processed by ECM was presented considering the electrolyte conductivity variations throughout the machining gap on the assumption that both effects of temperature rise and hydrogen gas evolution act independently. The analytical treatment covered both cases of plane and spherical machining. This simplified treatment showed fair agreement with previous elaborate analytical methods, thus justifying its use in practice.

The results show that the attainable accuracy for plane gaps can be assessed by the knowledge of the equilibrium gap size and inlet flow velocity for a certain electrolyte conductivity. For specified machining rates with certain gap sizes high degrees of accuracy can be verified by increasing the flow velocity.

For a spherical gap the actual conductivity variations yield profiles with better conformity to the spherical tool than that predicted assuming constant conductivity. The degree of conformity depends not only on the flow velocity, but also on the ECM working parameter, the feed rate, tool radius and volume fraction.

The results were finally presented either graphically or in the form of nomograms for practical use by tool designers or production engineers.

## **CONTENTS**

<b>ACKNOWLEDGMENTS</b>	<b>iv</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>vii</b>
<b>NOMENCLATURE</b>	<b>xi</b>
<b>LIST OF ILLUSTRATIONS</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>OBJECT AND SCOPE</b>	<b>3</b>
<b>CHAPTER I. REVIEW OF PREVIOUS WORK</b>	<b>4</b>
1.1. Prediction of Processed Shapes	4
1.2. Out of Conformity of Processed Shapes	9
<b>CHAPTER II. ANALYTICAL STUDY</b>	<b>14</b>
2.1. The Use of the Concept of Complex Functions for the Prediction of ECM Shapes	14
Workpiece Shapes for Pointed Tools.	
Workpiece Shapes for Rounded Tools.	
Shapes Processed by Complex Shaped Tools.	
2.2. Estimation of the Out of Conformity of Shapes Processed by Plane Surfaces	36
Conductivity Variation throughout the Machining Gap. Out of Conformity of Processed Shape.	
2.3. Estimation of the Out of Conformity of Shapes Processed by Rounded Surfaces	56
Conductivity Variation throughout the Machining Gap. Out of Conformity of Processed Shape.	

<b>CHAPTER III. EXPERIMENTAL WORK</b>	<b>73</b>
3.1. Test Rig	73
Measurements. Specimens. Tools. Profile Measurements. Tests.	
3.2. Blade Profile Forming Machine	85
Main Specifications of the BCM Machine.	
Workpiece and Tool Fixtures. Measurements.	
Aerofoil Section Measurements. Tests.	
<b>CHAPTER IV. DISCUSSION OF EXPERIMENTAL RESULTS</b>	<b>90</b>
4.1. Pointed Tools	90
4.2. Rounded Tools	93
4.3. Aerofoils	97
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>98</b>
<b>APPENDICES</b>	
I. Flow Charts of Computer Programs	100
II. Analytical Solutions	104
Shapes Processed by Pointed Tools.	
Shapes Processed by Rounded Tools.	
III. Samples of Aerofoil Sections	111
IV. Gap Deviation	113
<b>REFERENCES</b>	<b>114</b>

## NOMENCLATURE

$A$	Dimensionless number	....
$A_M$	Atomic weight of workpiece material	....
$A_i$	Elemental area for current	$\text{cm}^2$
$A_v$	Elemental area for velocity	$\text{cm}^2$
$A_1$	Real constant	....
$A'$	Complex constant	....
$a$	Radius	cm
$a_1$	Voltage factor	$\text{ohm cm}^3/\text{sec}$
$a_2$	Voltage factor	$\text{ohm cm}^3/\text{sec}$
$a'$	Radius	cm
$B$	Factor	cm
$B_1$	Gas characteristic	$\text{ga cm/amp sec } ^\circ\text{K}$
$B_2$	Factor	$\text{sec/cm}^2$
$B'$	Complex constant	....
$b$	Distance	cm
$b'$	Width of electrodes	cm
$C$	Factor	cm
$\dot{C}R$	Cutting rate	$\text{cm/sec}$
$C_1$	Real constant	$\text{cm}^2$
$C'$	Real constant	cm
$c$	Specific heat of electrolyte	$\text{Joule/gm } ^\circ\text{C}$
$D$	Temperature/pressure ratio	$^\circ\text{K cm}^2/\text{gm}$
$D'$	Distance	cm
$d$	Diameter	cm
$E$	Field strength	$\text{volt/cm}$

$t_H$	Chemical equivalent of hydrogen gas	....
$t_c$	ECM working parameter	cm <sup>2</sup> /sec
$E_x$	Component of field strength	volt/cm
$E_\theta$	Component of field strength	volt/cm
$e$	Real constant	....
$F$	Faraday constant	amp sec/gm equivalent
$f_v$	Volume fraction	....
$H_d$	Dissipated power	watt
$H_i$	Input power	watt
$h$	Working gap size	cm
$h_s$	Side gap	cm
$i$	Current	amp
$J$	Current density	amp/cm <sup>2</sup>
$K$	Electrolyte conductivity	1/ohm cm
$K_H$	Electrolyte conductivity due to hydrogen gas evolution	1/ohm cm
$K_T$	Electrolyte conductivity due to temperature rise	1/ohm cm
$K_f$	Effective electrolyte conductivity	1/ohm cm
$L$	Distance	cm
$l$	Length of electrodes	cm
$M$	Velocity factor	cm/sec
$m$	Distance	cm
$m_H$	Mass of evolved hydrogen gas	gm/sec
$N$	Factor	1/ohm sec
$n$	Volume fraction function exponent	....
OC	Out of conformity or inaccuracy in the gap	%

$P$	Pressure of hydrogen gas	atm/cm <sup>2</sup>
$Q$	Flow rate of electrolyte	cm <sup>3</sup> /sec
$R$	Electrical resistance of electrolyte	ohm
	Hydrogen gas constant	kp cm/kg °K
$R$	Radius factor for radial flow	cm
$r$	Working gap in cavity sinking	cm
$r_1$	Tool radius	cm
$r_2$	Workpiece radius	cm
$T_G$	Temperature gradient	°C/cm
$T_G$	Temperature gradient for spherical cutting	°C/cm
$T_K$	Absolute temperature of hydrogen bubbles	°K
$\Delta T$	Electrolyte temperature rise	°C
$t$	Machining time	sec
$z_1$	Distance	cm
$z_2$	Distance	cm
$\Delta t$	Time interval	sec
$U$	Tool feed rate	cm/sec
$V$	Potential difference	volt
$V_H$	Flow rate of evolved hydrogen bubbles	cm <sup>3</sup> /sec
$\Delta V$	Decomposition voltage	volt
$v$	Electrolyte flow velocity	cm/sec
$v_p$	Velocity of point $P$	cm/sec
$w$	Complex variable	
$w'$	Molecular weight of hydrogen gas	....
$x$	Distance along the gap	cm
$y$	Gap deviation	cm