Gear Design with the Aid of Computer and Drawing the Involutes Curve by Using ACAD

Abdulrahman A. Gatt'a
Production and Metallurgy Engineering Department, University of Technology/ Baghdad
Email: abanmar@yahoo.com

Received on: 30/5/2012 & Accepted on: 9/5/2013

ABSTRACT

This research involve with creating a program in basic language after modulating the equations which describes the coordinates of any point lays on the involute curvature. With the aid of a subroutine program, the main program transmits the resultant data to a "dxf" file in order to be useful in using with any package under AutoCAD. After that it's easy to get a precise drawing for the involute of the gear under concern. The resulting drawing can be used to produce the deferent types of gears tools.

تصميم التروس بمساعدة الحاسوب ورسم منحنى الالتفاف باستخدام ACAD

الخلاصة

يتضمن هذا البحث بناء برنامج بلغة البيسك بعد إجراء تعديلات على المعادلات الرياضية التي تصف إحداثيات نقاط منحنى التفاف التروس. يقوم هذا البرنامج، بمساعدة برنامج فرعي، بتكوين ملف نوع (dxf)يتضمن جميع نقاط منحنى الالتفاف المستخرجة من عملية تشغيله. حيث يمكن استخدام ملف إل(dxf) في أي برنامج تصميم هندسي يعمل تحت مجموعة ال(ACAD) . وبذلك يتم الحصول على رسم منحنى الالتفاف للتروس بدقة عالية. حيث يمكن استخدام الرسم الناتج في تصنيع عدد إنتاج التروس بمختلف أنواعها.

المقدمة

يمكن تعريف الالتفاف (Involute) على انه المسار الذي ترسمه أية نقطة على خط مستقيم يتدحرج بدون انزلاق على المحيط الخارجي لدائرة ثابتة . ويسمى هذا المستقيم بخط التكوين (Generation Line).[2, 1] التروس التقليدية تكون ذات التفاف متماثل على جهتي أسنان التروس, وهذا التماثل يعطي السن قابلية الأداء باتجاهين متعاكسين للحركة. وفي حالة الأداء باتجاه واحد يصمم الترس لا متناظر لأعطاه متانة وزيادة في سعة الأحمال التي يستوعبها. [4,3]

https://doi.org/10.30684/etj.31.14A.15
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

ان الالتفاف لايمثل جزء من دائرة كما انه ليس منحنى منتظم يخضع لمعادلة رياضية معينة . لكنه في الحقيقة عبارة عن منحنى مستوي (plane curve) يتكون بواسطة نقطة على خيط مشدود يفل من بكرة. [5]. كما ان منحنى الألتفاف ينفرد بالخصائص التالية:

١- المستقيم BK يساوي المنحنى BA وذلك لأن المماس MN يتدحرج بدون انزلاق على دائرة القاعدة. الشكل (1).
٢- لكل لحظة, من تكون الألتفاف, يكون مركزه اللحظي هو نقطة تماس المستقيم مع دائرة القاعدة.
٣- العمود على اية نقطة من نقاط الألتفاف هو مماس لدائرة القاعدة.
٤- ليس هناك منحنى التفاف ضمن دائرة القاعدة. [6]

هنا تكمن الصعوبة في تشكيل هذا الالتفاف كرسم هندسي وبالتالي تشكيل عدة قطع خاصة بتصنيع الترس المطلوب. خصوصا إذا كان الترس ذو وحدة قياس (Module) غير قياسي, حيث إن عدد تصنيع التروس تنتج من قبل شركات عالمية متخصصة لديها التقنيات الخاصة بها.

إن توفر مخطط هندسي دقيق لالتفاف أي ترس حتى لو كان غير قياسي يتيح الفرصة والإمكانية , لأية ورشة تمتلك ماكينة شحذ عدد القطع الأسقاطية (Projectile Tool Sharping Machine) , لتصنيع عدة قطع خاصة بهذا الترس وبالتالي تصنيعه بواسطة مكائن التفريز التقليدية . وذلك بعد حساب العناصر الأساسية للتروس والموضحة في الشكل (2) حيث يتم حسابها حسب معادلات تصميمية محددة متوفرة في جميع المصادر التي تعني بتصميم التروس. حيث تم في هذا العمل اعتماد المصادر [1,2,3,4,5] .

وصف(Nick Carter) بأن "المحظوظون بما يكفي هم من يستطيعون الوصول إلى شكل عدة تصنيع الترس (gear hobber) لكي يصنعوا الترس المطلوب" حيث يصف في بحثه طريقة لرسم مخطط بواسطة (ACAD) كمقاربة لالتفاف التروس.[7]

(Fumitaka Higuchi) وجماعته في بحثهم يذكر بأنه "لا يمكن التعبير عن منحنيات الالتفاف الدائرية بواسطة معادلات جبرية محددة وبذلك لا يمكن إشراكها في أنظمة (ACAD) بشكل مباشر" بذلك وضعوا خوارزمية تقريبية لمنحنى الالتفاف بصيغة دوال متعددة الحدود. [8]

أما (Stephen P. Radzevich) استخدم في بحثه طرق الهندسة الوصفية الأساسية مصاحبة لطرق التحليل المعتمدة لغرض تصميم عدة التروس (gear hobber) التي تستخدم في تصنيع التروس باستخدام مكائن التشغيل التقليدية. [9]

لو أخذنا التفاف involute لمنحنى معين وليكن C فان هذا الالتفاف يتكون من مجموعة منحنيات ولتكن i التي يمثل المنحني C مواقع مراكز المنحنيات i .في نظرية المنحنيات دائما يكون المنحنى Cعبارة عن دائرة تسمى دائرة القاعدة Base Circle .

لو أخذنا نقطة ولتكن P على منحنى الالتفاف ورسمنا مماس عند نقطة P سيكون هذا المماس هو المحور Y والمحور العمودي هو المحور X واللذان سيمثلان إحداثيات نقطة معينة على الالتفاف ولتكن Q ويتم حسابها كما يلي :

$$X = r \{ \sin\emptyset \sin\theta + \cos\emptyset \, (\theta \sin\theta + \cos\theta - 1)\} \qquad .....(1)$$

$$Y = r \{ \sin\emptyset \, (1 - \cos\theta) + \cos\emptyset \, (\sin\theta - \theta \cos\theta)\} \qquad .....(2)$$

حيث:

r : هو نصف القطر إلى النقطة P .

Ø: زاوية الضغط (Pressure angle) عند النقطة P .

θ: الزاوية مابين أنصاف الأقطار المرسومة إلى نقطتين على دائرة القاعدة احدهما العمود على P والآخر العمود على Q .(الشكل رقم 3)

تكون قيم θ , X موجبة عندما تكون Q أعلىP وكلاهما سالب عندما Q أسفل P , تكون قيمة Y موجبة دائما وتقاس باتجاه خط مركز سن الترس .

عند نقطة P تكون قيم (X & Y) كلاهما صفر .

قيم كل من (Ø , r) ثابتة عند نقطة معينة لP بحيث إن النقاط الأخرى على الالتفاف مثل Q , تحسب فقط بتغيير قيمة θ . عادة تؤخذ نقطة P لتكون نقطة الخطوة (Pitch Point) والتي عندها r هو نصف قطر الخطوة (Pitch radius) للترس وتكون Ø هي زاوية الضغط (Pressure angle). [5,1]

يتم حساب قيمة θ من المعادلة التالية :

$$\theta = \left(\sqrt{\left(\frac{R/r}{\cos \emptyset}\right)^2 - 1}\right) - \tan \emptyset \qquad \text{.....(3)}$$

حيث :

R : هو نصف القطر للنقطة Q .

Ø : زاوية الضغط الخاصة بالنقطة Q.

الجانب العملي :

إن الأساس المعتمد في هذا العمل هو تحديد إحداثيات اكبر عدد ممكن من النقاط الواقعة على منحنى الالتفاف, نسبة إلى مركز الترس, والتوصيل بينها بخطوط مستقيمة متناهية في الصغر.

بذلك لغرض إعداد البرنامج بلغة البيسك (Basic) تم إجراء الخطوات التالية :

١- نقل الإحداثيات لكل نقطة على الالتفاف إلى مركز(center) الترس أي نقل نقطة الصفر (0,0) من نقطة P على الالتفاف إلى مركز الترس. بذلك تم اشتقاق المعادلات التالية وحسب ما موضح من علاقات مثلثية في الشكل رقم (4):

$$X' = \mathrm{r} + \cos \emptyset \, (X - Y \tan \emptyset) \qquad \text{..... (4)}$$

$$Y' = r\{\sin \emptyset \, (X - Y \tan \emptyset) + Y/\cos \emptyset\} \qquad \text{..... (5)}$$

حيث :

r : نصف قطر الخطوة (Pitch radius).

Ø: زاوية الضغط (Pressure angle) .

X : الأحداثي المماسي لأي نقطة على الالتفاف نسبة إلى النقطة P .

Y : الأحداثي العمودي لأي نقطة على الالتفاف نسبة إلى النقطة P.

X': الأحداثي المماسي لأي نقطة على الالتفاف نسبة إلى مركز الترس .

Y' : الأحداثي العمودي لأي نقطة على الالتفاف نسبة إلى مركز الترس .

٢- تدوير جميع نقاط الالتفاف بمقدار نصف سمك السن حول نقطة مركز الترس، حيث إن المعادلات السابقة تجعل جميع نقاط الالتفاف في خط مركز السن, حسب الشكل رقم (5).

لو أخذنا أية نقطة على الالتفاف ولتكن نقطة K ستكون عملية تدويرها كما في الشكل رقم (6).

يتضح من هذا الشكل إننا يمكن إيجاد قيمة R وهي المسافة مابين نقطة مركز الترس (0،0) والنقطة K حيث :

$$R = \sqrt{(Y')^2 + (X')^2} \quad \text{----------(6)}$$

وكذلك يمكن حساب الزاويتين α, γ حيث :

$$\text{Tan } \gamma = Y'/X' \quad \text{---------- (7)}$$

$$\text{Sin } \alpha = t_t /2r \quad \text{---------- (8)}$$

, r=pitch radius .

ومن الشكل رقم (6)

$$X'' = R \cos(\alpha + \gamma) \quad \text{---------- (9)}$$

$$Y'' = R \sin(\mathbf{a} + \mathbf{g}) \quad \text{---------- (10)}$$

وعندها نحصل على جميع نقاط الالتفاف نسبة إلى مركز الترس.

حيث:

R : المسافة بين مركز الترس ونقطة معينة على الالتفاف .

g: زاوية نصف سمك السن .

a: زاوية تدوير نقاط الالتفاف.

استخدام البرنامج:

تم إعداد البرنامج بلغة البيسك وهو برنامج تفاعلي مبني على أساس إدخال بيانات يطلبها البرنامج تتم استجابة البرنامج لها على شكل مخرجات.حيث يوضح الشكل رقم (7) الخوارزمية المستخدمة لبناء البرنامج. كما يوضح الشكل رقم (8) نافذة يظهر فيها اسم البرنامج, بعد تشغيله تحت نظام MSDOS, والى الأسفل تظهر عبارة ?PRESSURE ANGLE فيقوم مستخدم البرنامج بكتابة قيمة زاوية الضغط المطلوبة لتصميم الترس, ثم يضغط مفتاح الإدخال (Enter) فيستجيب البرنامج بإظهار عبارة ?PITCH RADIUS(r) ليقوم المستخدم بإدخال قيمة نصف قطر الخطوة ثم يضغط مفتاح الإدخال. يستجيب البرنامج بإظهار عبارة ?NUMBER OF TEETH(N) ليقوم المستخدم بكتابة عدد الأسنان المطلوب للترس ويضغط مفتاح الإدخال. سيقوم البرنامج بعد ذلك بإجراء جميع الحسابات التصميمية للترس ويعطي النتائج على شكل المخرجات التالية:

(OUTSIDE RADIUS, ROOT RADIUS, DEDENDUM, ADDENDUM, CIRCULAR PITCH, DIAMETRAL PITCH, FILLET, BASE CIRCLE RADIUS)

كما يعطي البرنامج قيمة عددية لزاوية تدوير (نحتاجها عند رسم سن كامل للترس في برنامج ACAD) .

أخيرا يطلب البرنامج وضع اسم لملف dxf الذي سيكونه البرنامج ويطلب إحداثيات لنقطة البداية. سيظهر ملف ,dxf يحمل الاسم الذي وضعه مستخدم البرنامج, في نفس موقع البرنامج في الحاسبة يمكن للمستخدم استدعائه, بعد فتح برنامج ACAD, ليظهر رسم كما في الشكل رقم (أ 9) ثم تنفذ الخطوات التالية:

١- رسم دائرة مركزها نقطة البداية ونصف قطرها القيمة المعطاة في مخرجات برنامج إل(basic)لتمثل دائرة قاعدة الترس (base circle).
٢- تنفيذ إيعاز(mirror) لكل عناصر الالتفاف.
٣- نرسم الدائرة الخارجية ودائرة الجذر(outside and root circles) مركزها نقطة البداية وبالأقطار التي تم الحصول عليها من مخرجات البرنامج .
٤- تشذيب منحنى الالتفاف والدائرة الخارجية ودائرة الجذر باستخدام إيعاز (trim) لنحصل على سن واحد متكامل للترس المطلوب.
٥- نثبت إل(fillet) بين دائرة الجذر والالتفاف وحسب القيمة التي تم الحصول عليها من مخرجات البرنامج .
٦- أخيرا وباستخدام إيعاز ("array "polar) يستنسخ السن الذي تم تشكيله حول مركز دائرة القاعدة بعدد أسنان الترس المصمم لنحصل على ترس كامل(الشكل ب9) يمكن رسم تشكيل عدة القطع الخاصة لتصنيعه.

النتائج والمناقشة

١- يصلح البرنامج كمساعد تصميم التروس والمسننات وذلك بإدخال زاوية الضغط ، نصف قطر الخطوة ، والقطر الخارجي للترس يمكن الحصول على جميع العناصر التصميمية الأخرى للتروس.
٢- بوجود برنامج ACAD في الحاسبة يتم سحب الملف dxf الذي يخرجه البرنامج حيث يتم الحصول على رسم التفاف الترس المصمم، ومن ثم رسم كامل الترس باعتماد مخرجات البرنامج.
٣- الرسم الذي يتم الحصول عليه للالتفاف يمكن اعتماده في تصنيع عدة قطع لإنتاج الترس المعني وذلك باستخدامه كدليل في مكائن السن الاسقاطيه حيث يمكن تصنيع أقلام تشكيلية للمقاشط أو مقاطع قرصية أو إصبعية تستخدم في مكائن التفريز التقليدية.
٤- تم اختبار البرنامج من خلال مطابقة مخرجاته مع البيانات التصميمية لتروس ومسننات جاهزة وقياسية وكانت النتائج متطابقة.
٥- تم مطابقة رسم منحنى الالتفاف الذي يخرجه البرنامج مع تروس ذات وحدات قياس (modules) قياسية بواسطة جهاز إسقاط ضوئي وكانت متطابقة كما يظهر في الشكل (10,11,12).
٦- يمكن استخدام البرنامج في تصميم تروس قياسية وغير قياسية ورسم منحنيات التفافها وبذلك يوفر الفرصة للعاملين في هذا التخصص لتصنيع عدد إنتاج التروس غير القياسية, والتي لا تنتجها شركات تصنيع العدد إلا بطلبات خاصة وبكلف مرتفعة.

الاستنتاجات

١- العمل الذي ينجزه البحث هو مقاربة على درجة عالية من الدقة مقارنة مع البحوث والمقاربات المشابهة لهذا العمل.[7,8,9,10,11]
٢- يمكن التحكم بدقة النتائج عن طريق تغيير القيم في إحدى خطوات البرنامج والتي يتم فيها تحديد مقدار الانتقال (step) في عملية تكرار حساب معادلات تحديد نقاط الالتفاف من البرنامج.
٣- يمكن تطوير العمل المعد في هذا البحث بحيث يتم دمجه مع مجموعة ACAD ليعطي مخططات جاهزة لكل من الترس المطلوب والعدة الخاصة بإنتاجه, وهذا يتطلب متخصصين في البرمجيات ذوي خبرة كافية.

المصادر

[1].YU Berezovsky ,D. Chernilevsky, M. Potrov, "Machine Design " MIR PUBLESHERS MOSCOW 1988.

[2]. Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 Tips and Tricks "Involute Gears **"** COPYRIGHT 2008 CADQUEST INC.

[3].E. Buckingham, Analytical Mechanics of Gears, Dover, New York, 1988.

[4].F.L. Litvin, Gear Geometry and Applied Theory, Prentice-Hall, Englewood Cliff, NJ,1994.

[5].R.S.KHURMI, J.K.GUPTA a text book of "Machine Design" first multicolor edition 2005 EURASIA PUBLISHING HOUSE PVT. LTD. RAMANAGAR, NEWDELHI. 110055. Page (1025 – 1035).

[6].Yi Zhang ,Susan Finger, Stephannie Behrens , "Introduction to Mechanics", Carnegia Millon University. www.cs.cmu.edu

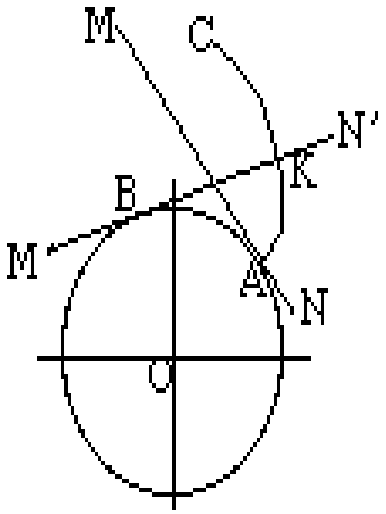
[7].Nick Carter, The Involute Curve, Drafting a Gear in CAD and Applications, Copyright Nicholas Carter, 2007, Back to cartertools.com

[8].Fumitaka Higuchi, etal, Approximation of Involute Curves for CAD-System Processing Design Laboratory, Cambridge, MA 02139-4307, USA YNU Digital Engineering Laboratory Memorandum 05-1 Copyright °c 2005 Yokohama National University, All rights reserved December 21, 2006

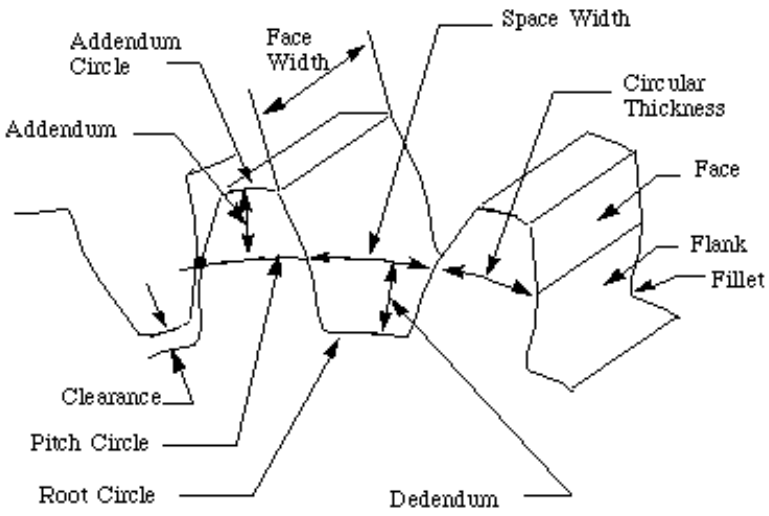
[9].Stephen P. Radzevich, Ph.D.A NOVAL HOB DESIGN FOR PRECISION INVOLUTE GEARS. Gear Solutions May 2007

[10].Salem company, "Involute Gears Text books" ,Involute Teeth. Page 77. How to Draw Involute Gear Teeth. copy right 2009 salem company, Woods town.

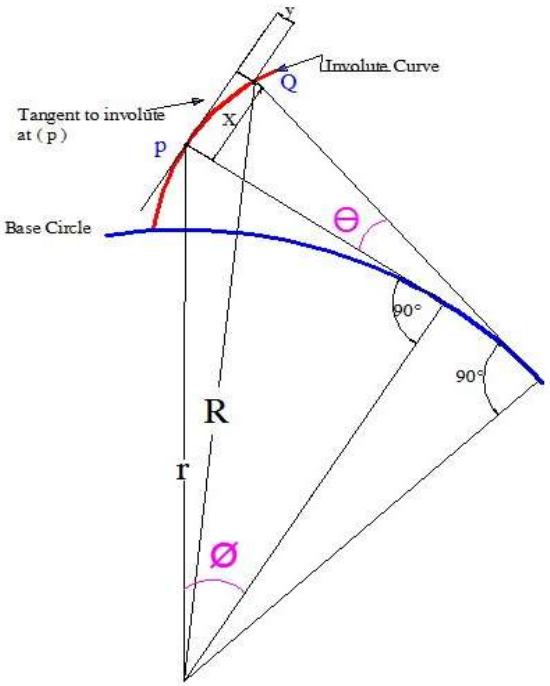
[11].Alexander Kapelevich ,Geometry and Design of Involute Spur Gears with a Symmetric Teeth,. Elsevier Science Ltd 1999.



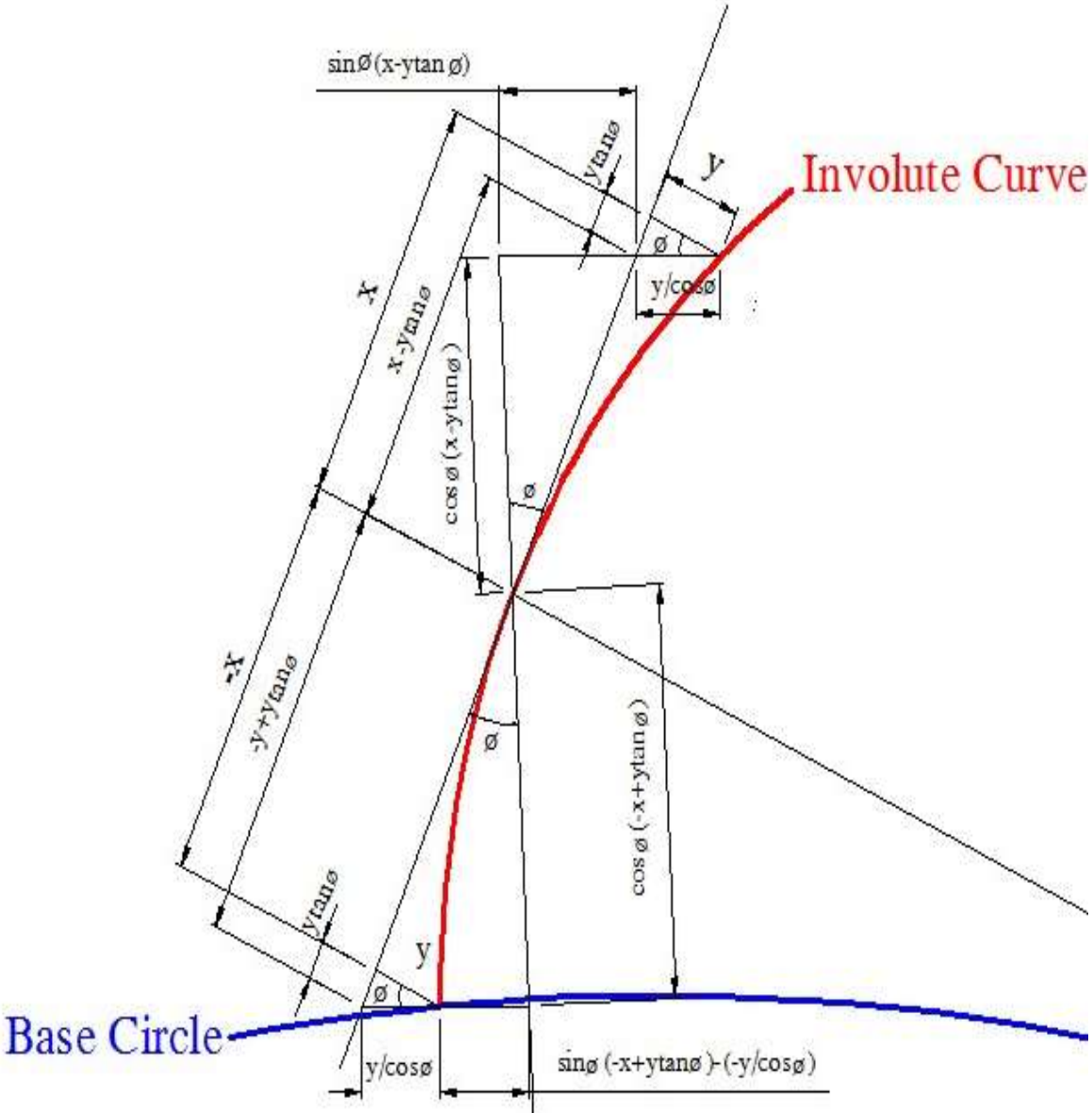
شكل (1) يوضح تكوين الالتفاف. [6]



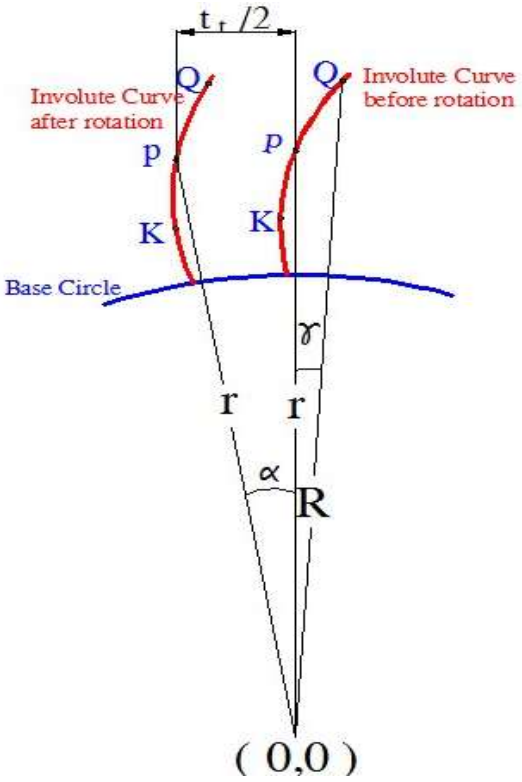
شكل رقم (2) يوضح العناصر الأساسية للتروس. [6]



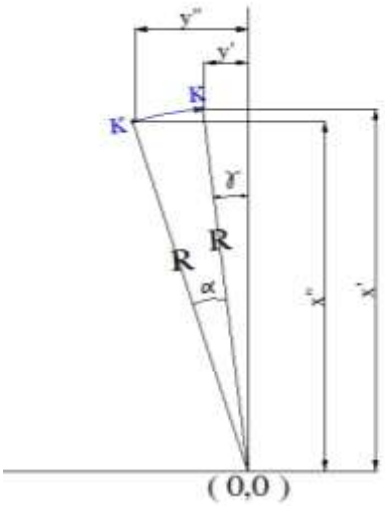
شكل رقم (3) يوضح الأساس النظري



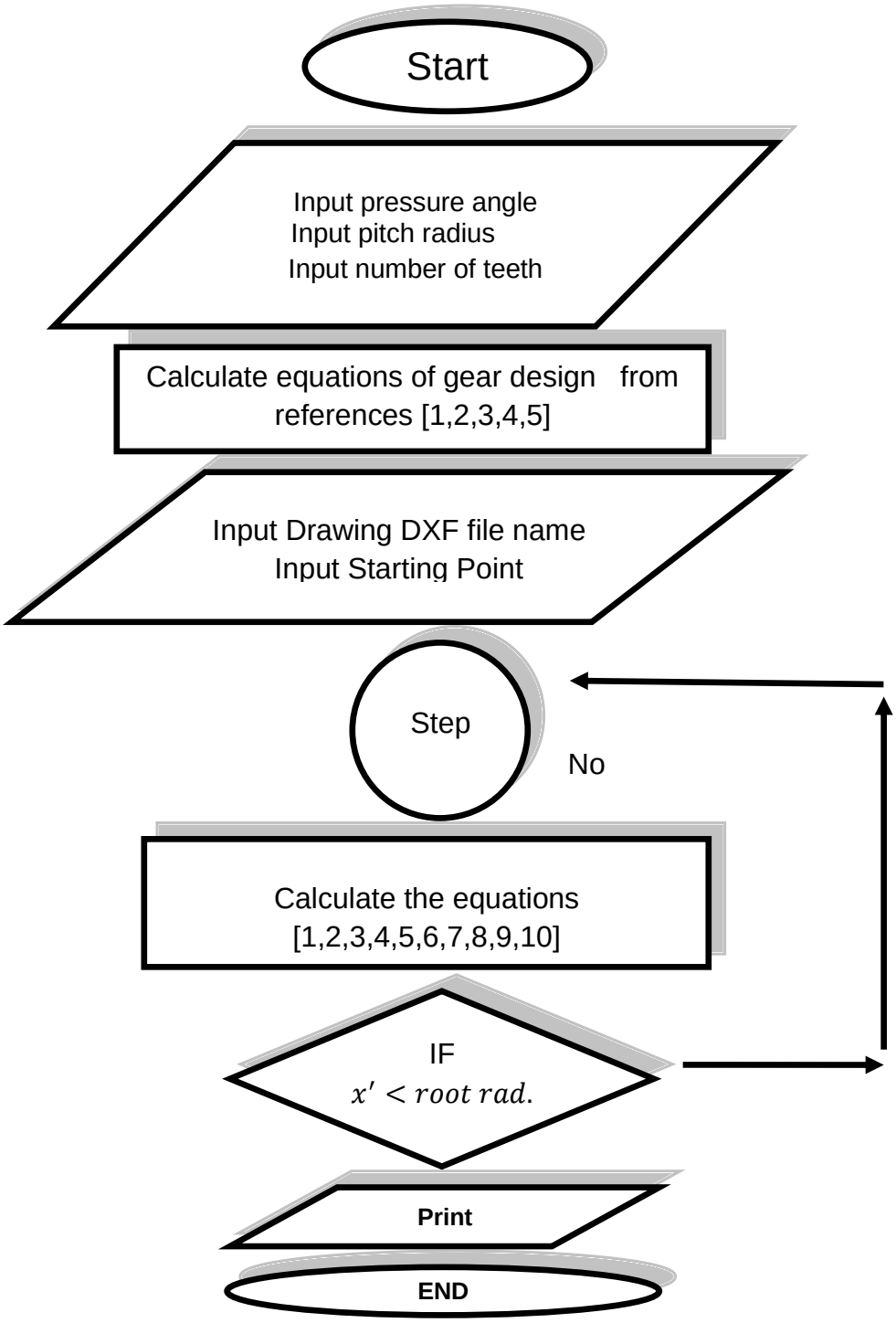
شكل رقم (4) يوضح إحداثيات أية نقطة على الالتفاف نسبة إلى النقطة P والعلاقات الرياضية التي تم تكوينها لإتمام العمل.



شكل رقم (5)عملية تدوير الالتفاف بمقدار نصف سمك السن



شكل رقم (6)

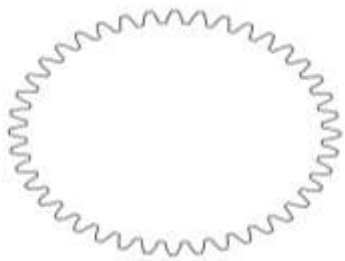

Start
Input pressure angle
Input pitch radius
Input number of teeth
Calculate equations of gear design from references [1,2,3,4,5]
Input Drawing DXF file name
Input Starting Point
Step
No
Calculate the equations [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]
IF
$x' < root\ rad.$
Print
END

شكل رقم (7) يوضح الخوارزمية المستخدمة لبناء البرنامج

```
**************************************************
***** RAHMAN UTILITY FOR GEAR INVOLUTE DESIGN *****
**************************************************

PRESURE ANGLE? 20

PITCH RADIUS(r)? 100

NUMBER OF TEETH (N)? 40

OUTSIDE RAD.= 104.9999          ROOT RAD.= 93.99754

DEDENDUM= 6.002455مج ADDENDUM= 4.999856

CIRCULAR PITCH= 15.708          DIAMETRAL. PITCH .2
                    Fillet= 1.5
--------------------------------------------------
###  ANGLE TO ROTATE THE INVOLUTE WITH = 2.249678 ###
--------------------------------------------------
Base Circle Rad.= 93.96446
------------------------------------------
DRAWING (DXF) FILE NAME:test1
STARTING POINT? 0,0
```

شكل رقم (8) يوضح مدخلات ومخرجات البرنامج

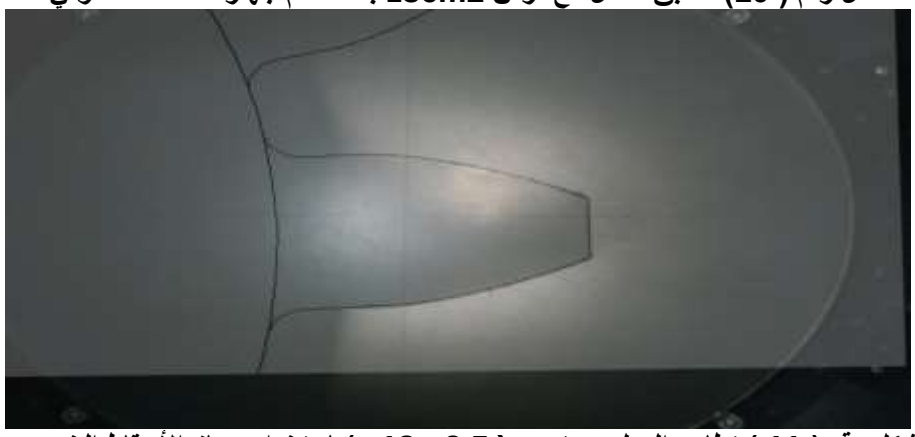
(أ)



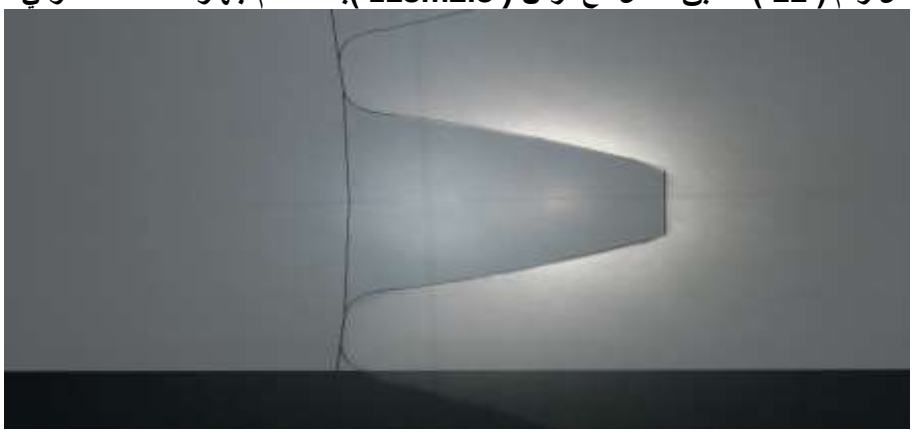
(ب)

شكل رقم (9) يوضح (أ) تنفيذ ملف (dxf) بعد فتحه ببرنامج ACAD.
(ب) اكتمال رسم الترس باستخدام أدوات ACAD التقليدية.

شكل رقم (10) تطابق العمل مع ترس z36m2 باستخدام جهاز الأسقاط الضوئي



شكل رقم (11) تطابق العمل مع ترس (z18m2.5)باستخدام جهاز الأسقاط الضوئي



شكل رقم (12) تطابق العمل مع ترس (z50 m1.5)باستخدام جهاز الأسقاط الضوئي