



done on a gear model similar to accessory gear of Gas Station for electricity generation in Mansour-Mosul.

Computer program using finite element technique had been developed. Gear tooth model had been analyzed using finite element method in three dimensions. The results of execution finite element program for many cases of misalignment angle showed clearly, that the stress distribution and its concentration on tooth changed with misalignment angle. According to the values of generated stresses, the tooth fracture can be predicted, this leads to the selection of more suitable materials to be used for gears. New formulas governing stresses change with change of misalignment angle, had been obtained - using regression analysis -. Also it is found that when angle of misalignment being generated by 0.1 degree, this leads to increase of 154 % in maximum principal stress at root tension side, 163 % in maximum shear stress and 147 % in minimum principal stress at contact region.

<b>Keywords</b>	Misalignme	Spur gear	Stress	Finite element
2006/1/26 قبل في	nt		analysis	أستلم في 2005/7/26

تعريف الرموز والمصطلحات:

الرمز	تعريفه	الوحدة	الرمز	تعريفه	الوحدة
$a$	ثابت ، يعتمد على زاوية الضغط.	(mm)	$m$	مقياس حجم السن.	(mm)
$B$	.	(mm)	$N$	السرعة التشغيلية.	(r.p.m)
$B'$	العرض الفعّال	(mm)	$P$	.	( W )
$c$	معامل ، يعتمد على خواص مادة الترسين المُعشقين و على ية الضغط.	(mm)	$r$	الصغير.	(mm)
$C_T$	معامل توزيع الحمل.	(N/m <sup>2</sup> )	$r_b$	.	(mm)
			$r_f$	.	(mm)
			$T$	العزم الميكانيكي	(N.m)

	:U	(N/mm.μ)	ثابت النابضية.	:C <sub>z</sub>
(N)	.			
(N/mm	:u <sub>m</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	.	:E
)	.			
(N/mm	:u <sub>max</sub>	(m)	.	:e
)	أعظم قيمة للحمل المسلط في توزيع		الحمل العمودي المنقول بوساطة	:F
(m/sec)	:V	(N)	.	
	السرعة الخطية المماسية.			
	:Z	(N)	مل الديناميكي.	:F <sub>dyn</sub>
(Degre	:α	(N)	المركبة العمودية	:F <sub>n</sub>
e)	زاوية عدم المحاذاة.		.	
(Radia		(N)	.	
n)		(μ)	الخطأ الاتجاهي.	:f <sub>RW</sub>
(N/mm	:σ <sub>y</sub>	(N)	المركبة المماسية	:F <sub>t</sub>
<sup>2</sup> )	إجهاد الخضوع.		.	
(Degre	:ψ	(mm)	.	:h <sub>a</sub>
e)	زاوية الضغط.			
(rad/se	:ω	(mm)	.	:h <sub>d</sub>
c)	السرعة الزاوية.			

### 1.المقدمة:

تعد الإجهادات المتولدة في أسنان التروس الناقلة للحركة عاملاً مُحدداً بالنسبة لمُصممي إذ يمكن في ضوء تحديد مستوى الإجهادات المتولدة تحديد ماد السن وشكله ودرجة صلابته، فضلاً عن سرعة التشغيل والحمل المنقول وغيرها من أمور التصميم الواجب تحديدها. وتكمن أهمية دراسة تحليل الإجهادات في تحديد أماكن تركيز الإجهادات المتوقع أن يبدأ عندها

أجريت بحوث ودراسات عديدة اعتمدت أساليب مختلفة في تحليل الإجهادات المتولدة

فصيغة لويس (Lewis equation)

(Beam) هي من الأساليب التقليدية والأساسية لحساب الإجهاد عند جذر السن.

أجريت دراسات عديدة باستخدام تقنية المرونة الضوئية (Photoelasticity technique) إدخالها البحث لحساب الإجهادات. إن ظهور طريقة العذ وانتشارها الواسع، أتاح للباحثين إمكانية تطبيقها في تحليل الإجهادات بكفاءة، إذ أجرى الباحثان (L.Wilcox and W.Coleman) [1] دراسة باستخدام طريقة العناصر المحددة، لحساب الإجهادات المتولدة على سن الترس، وبالاعتماد على النتائج المستحصلة من تطبيق هذه الطريقة، تمكن الباحثان من إيجاد صيغة جديدة لحساب قيم الإجهادات عند منطقة جذر

أجرى الباحثون (G.Chabert, T.Dang.Tran and R.Mathis) [2] دراسة باستخدام طريقة العذ لتوزع الإجهادات عند جذر السن بتسليط حمل سكوني ثابت.

الباحثون نماذج مختلفة في الأبعاد، وأجروا الحسابات عليها، وبالاعتماد على قيم الإجهادات المحسوبة عند الجذر للنماذج التي تمت دراستها، اقترح الباحثون صيغة مبسطة لحساب أعلى قيمة للإجهاد عند جذر السن على جانب (T.Sayama, S.Oda and K.Umezawa) [3] فقد أجروا دراسة لحساب الإجهادات والانحناءات عند جذر سن ترس ذي حافة رفيعة (Thin rimmed gear) ودعامات ملحومة بالحافة، وقد أجريت الحسابات بتطبيق طريقة العناصر المحددة بثلاثة أبعاد، وتُظهر مقارنة نتائج الحسابات توافقاً جيداً مع القيم المستحصلة عملياً باستعمال مقاييس الانفعال التي يتم تثبيتها عند جذر السن.

(Mileta Ristivajevic) [4] دراسة نظرية لتحديد الإجهادات التشغيلية المتولدة خلال التحميل، والإجهادات الحرجة المسؤولة عن بعد تحديد عوامل الأمان والموثوقية. ويعتمد التحليل على تحديد أمور عديدة منها: الأبعاد التصميمية، التصنيع، والحمل الديناميكي، وتوزيع الحمل على الأسنان المُعشقة، وتركز الإجهادات. وتدخل جميع هذه الأمور على شكل معاملات في المعادلة العامة لحساب الإجهاد.

من استعراض البحوث السابقة أن عدداً من الباحثين أجروا دراسات لتحليل الإجهادات المتولدة بافتراض السن ثنائي الأبعاد (2D\_Plane elastic) وبافتراض الحمل

المسلط على سن الترس متركزاً عند نقطة معينة، ومن ثم إيجاد أعلى قيمة للإجهاد في جذر

أجريت بتحليل النموذج بثلاثة دون الدخول في نتائج تغيير تسليط الحمل، من تغيير في توزيع الإجهادات وتركزها مع تغيير زاوية عدم المحاذة.

يتناول هذا البحث دراسة تأثير عدم محاذة الأعمدة الدوارة على توزيع الإجهادات،

وتركزها على سن ترس ذي أسنان مستقيمة (Spur gear). تتم دراسة تحليل الإجهادات وبثلاثة

أبعاد على نموذج السن المدروس، باستخدام طريقة العناصر المحددة. وتتم دراسة عدد من

الحالات لتغيير زاوية عدم التي تؤثر على كيفية توزيع تسليط

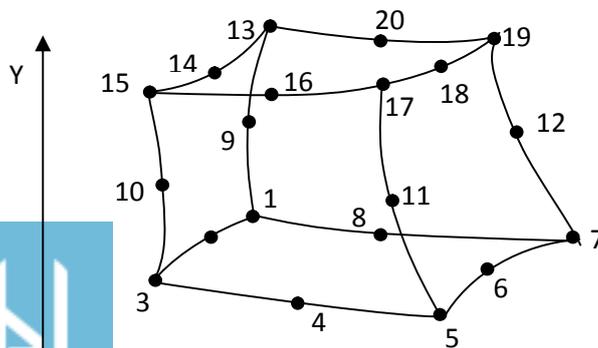
السن، ومن ثم دراسة التغيير الحاصل في توزيع وتركز الإجهادات، الناتج عن تغيير زاوية عدم

## 2. برنامج العناصر المحددة:

يمكن تطبيق طريقة العذ بفعالية لحل العديد من المسائل عن طريق برمجة ت الطريقة ، والبرنامج المعتمد في دراسة هذا البحث مكتوب بلغة (Fortran\_90) ويتعامل مع عنصر ثلاثي الأبعاد ، سداسي الأوجه ، ذي عشرين عقدة (3D-20 nod- Hexahedron element) يمكن توضيحه في الشكل (1) . يتيح البرنامج إمكانية تحديد عدد نقاط كاوس التكاملية (Gauss points) ، إذ يمكن أن يكون عددها . ويتطلب تطبيق هذا البرنامج تزويده بإحداثيات العقد كافة وترقيم العقد المكونة لكل عنصر ، التي يمكن الحصول عليها باستخدام برنامج خاص لتوليد العناصر ويمكن توضيح ترقيم عقد (1). كما يتطل تحديد قيم القوى المسلطة على العقد ، ودرجات الحرية المقيدة بوصفها شروطاً محيطية. يعتمد البرنامج طريقة (Skyline) لآزن مصفوفة الجساءة ، كما يعتمد طريقة (Cholesky) . وعند تنفيذ البرنامج يتم الحصول على قيم مركبات الازاحات عند العقد كافة ، وقيم الإجهادات عند نقاط كاوس ضمن [5].

## 3. التطبيق العددي:

أجري التطبيق العددي باستخدام برنامج العناصر المحددة على نموذج سن الترس ذي البيانات المقاربة لبيانات الترس الملحق ( Accessory gear ) الموجود في المحطة الغازية لتوليد الكهرباء في المنصور – الموصل. ويمكن توضيح بيانات الترس (1).

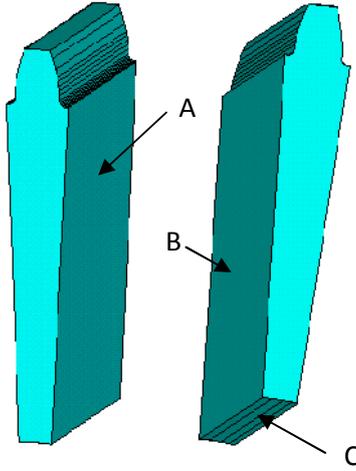


Alloy designation		Yield stress
DIN	AISI	
1.7218 25CrMo4	4130	$\sigma_y = 570 \text{ N/mm}^2$
(Modulus of elasticity) $E$		207000 $\text{N/mm}^2$
(Poisson's ratio) $\nu$		0.3
(Module) $m$		4 mm
(Pressure angle) $\Psi$		20
(Addendum) $h_a = m$		4 mm
(Dedendum) $h_d = 1.25m$		5 mm
(Root fillet) $r_f$		1 mm
(Face width) $B$		40 mm
(Teeth no.) $Z$		50 teeth
(Power) $P$		400,000 W
(Running speed) $N$		5000 r.p.m

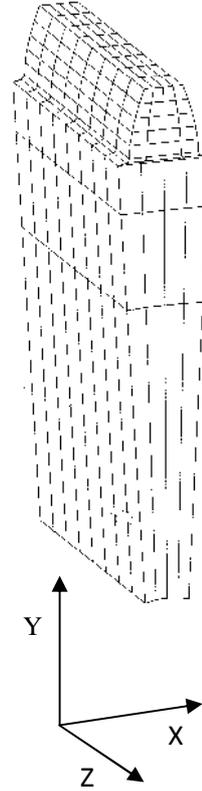
(1): بيانات الترس المدروس.

### 1.3. تمثيل النموذج بطريقة العناصر المحددة:

عنصرًا ثلاثي الأبعاد ، سن الترس  
سداسي الأوجه ، ذي عشرين عقدة ، ويوضح الشكل (2) تقسيمات النموذج مع تثبيت الإحداثيات  
عمود الدوران ، كما يضم النموذج  
الجانبية (A, B, C) للنموذج ، المثبتة بحيث تكون درجات الحرية للنقاط الواقعة عليها مقيدة  
(z, y, x).



الشكل (3): جوانب النموذج التي تم تقييد درجات الحرية عندها.



الشكل (2): تقسيمات النموذج الثلاثية الأبعاد مع تثبيت الإحداثيات على مركز عمود الدوران.

#### 4. حساب الحمل المسلط:

لغرض تطبيق طريقة العذ  
بعد إيجاد الحمل الديناميكي  
عرض السن عند تغير زاوية عدم  
يتوجب حساب الحمل المسلط على سن الترس  
. ومن ثم إيجاد توزع الحمل المُسلط على امتداد  
عن طريق حساب قوى مكافئة متركزة تُسلط على

#### 1.4. الحمل المنقول:

- (1).  $T = P / \omega$  .....  
 $\omega = 2\pi N / 60$

وبتعويض القيم من الجدول (1) يمكن حساب  $T$

$$T = 763.943 N \cdot m$$

- (2).  $F = T / r_b$  .....  
 $r_b = r \cdot \cos(\Psi)$   
 $r = m \cdot z / 2$

وبتعويض القيم من الـ (1) يمكن حساب  $F$

$$F = 8129.74 N$$

في هذا البحث تكون نسبة التلامس (C.R=1.7)  
التلامس ، سيكون بزوج  
بين بداية التلامس ونهايته. أعتمد في هذا البحث لتسليط الحمل عندما يكون التعشيق بزوج واحد  
إي عندما يكون الحمل المسلط في أعلى قيمة له، ومساوياً للحمل العمودي الكلي المنقول.  
تتولد أعلى إجهادات عند جذر السن.

ض التروس الناقلة للحركة لتسليط حمل ديناميكي. الذي يؤدي بدوره إلى  
زيادة احتمالية فشل أسنان الترس بسبب زيادة الإجهادات المتولدة. وقد تم في هذا البحث لغرض  
أخذ تأثير الحمل الديناميكي اعتماد معادلة بكنكهام (Buckingham equation) التي يمكن  
وصفها على النحو الآتي [6]:

$$F_{dyn} = F_t + \frac{21 V (B c e + F_t)}{21 V + \sqrt{B c e + F_t}} \dots \dots \dots (3)$$

يمكن إيجاد (e) ، بعد الرجوع إلى جداول سماحية الخطأ [6] ، لتكون قيمته  $e = 2 \times 10^{-6} m$

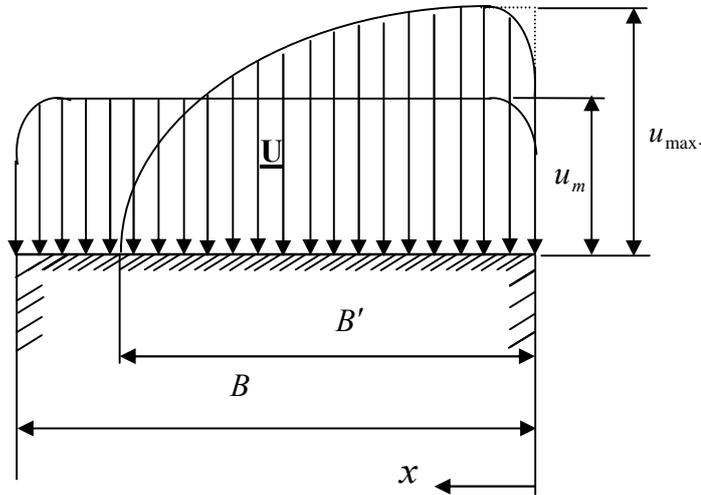
$$c = \frac{a (E_p E_g)}{(E_p + E_g)}$$

$a(\Psi = 20^\circ) = 0.111$  ،  $E_p = E_g = 207 \times 10^9 N/m^2$  (For pinion and gear)

$$\therefore F_{dyn} = 15527.377 N$$

#### 2.4. توزيع الحمل على امتداد عرض السن:

عند تولد عدم محاذاة بين الترسين المُعشقين، فإن تعشيق الأسنان لا يكون بصورة صحيحة ويتغير من ثم التلامس بين السنين المُعشقين بانحصاره في جانب من سطح السن، وانحصاره عن الجانب الآخر، ويتغير توزيع الحمل المسلط على السن عن طبيعته المنتظمة وتناقصه تدريجياً على الجانب الآخر. يمكن تقريب طبيعة توزيع الحمل عند تولد عدم المحاذاة بتوزيع القطع المكافئ التكعيبي (Cubic parabolic distribution) الذي يعد الأقرب للتوزيع الطبيعي للحمل. ويوضح الشكل (4) هذا التوزيع - يمكن وصفه بالمعادلة الآتية [7]:



الشكل (4): توزيع الحمل في حالتي المحاذاة التامة وعدم المحاذاة.



$$B' = \sqrt{\frac{4 U B}{3 f_{RW} \cdot C_z}} \dots \dots \dots (9)$$

وللنموذج المدروس يكون الحمل المماسي :

$$U = F_{dyn} = 15527.377 \text{ N}$$

ويمكن تعريف معامل توزيع الحمل ( Load distribution factor ) ليكون:

$$C_T = \frac{u_{max}}{u_m} \dots \dots \dots (10)$$

في هذا البحث تم حساب توزيع الحمل على سن الترس لحالات عدم المحاذة التي اختيرت للدراسة ويمكن توضيحها في الجدول الآتي:

Cas e	$\alpha(\text{radian})$	$\alpha(\text{deg ree})$
1	0.000	0.000
2	0.000512	0.02933
3	0.000681	0.03901
4	0.000952	0.05454
5	0.00180	0.10313
6	0.00320	0.18334

(2): زوايا عدم المحاذة التي اختيرت للدراسة

وفي كل حالة يتم حساب العرض الفعال لتسليط الحمل ( $B'$ ) (المُنظر لزاوية عدم المحاذة في تلك الحالة، يتم بعد ذلك حساب ( $u_{max}$ )، ومن ثم يتم إيجاد قيم القوى المكافئة المتمركزة على العقد، التي تمثل الحمل الحقيقي الموزع لتلك الحالة، ويتم ذلك بإجراء تكامل :

$$F = \int_{x_1}^{x_2} u_{\max} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{x}{B'} \right)^3 \right] dx \dots\dots\dots (11)$$

ويمكن توضيح نتائج الحسابات لحالات عدم المحاذاة التي تمت دراستها على النحو

:

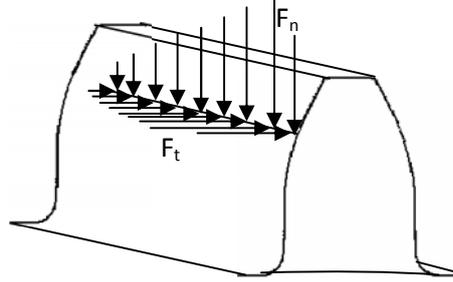
Case	$\alpha$ (Radian)	$f_{RW} (\mu)$	$B'(mm)$	$u_{\max} (N)$	$C_T$
1	0.000000	0.00	$B = 40$	$u_m$	1.0
2	0.000512	20.48	37.5	552.08	1.42
3	0.000681	27.25	32.5	637.02	1.64
4	0.000952	38.08	27.5	752.84	1.94
5	0.001800	72.0	20.0	1035.15	2.66
6	0.003200	128.0	15.0	1380.21	3.55

:(3)

يتم بعد حساب كل القوى المتمركزة التي يكون مجموعها مساوياً للحمل المماسي الموزع الذي تمثله، إيجاد المركبات العمودية المناظرة للقوى المتمركزة المماسية، وباستخدام زاوية  $\Psi$  ( [8] ):

$$F_n = F_t \tan(\Psi) \dots\dots\dots (12)$$

بذلك تكون قيم القوى المسلطة جاهزة للإدخال كبيانات لبرنامج العذ . ويوضح الشكل (5) مركبات القوى المسلطة التي تمثل توزيع الحمل على امتداد العرض الفعال لقيمة زاوية عدم المحاذاة.



الشكل (5): مركبات القوى المكافئة

## 5. النتائج والمناقشة:

يمكن تقديم النتائج المستحصلة من هذا العمل ومناقشتها بتناول الرسومات والمنحنيات :

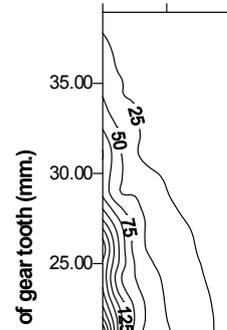
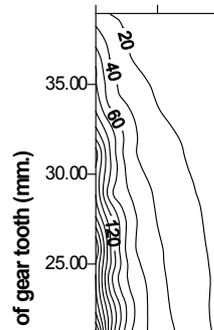
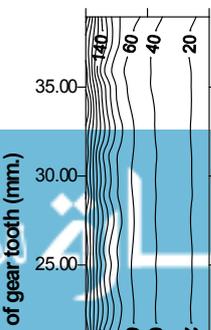
1. رسومات المناسيب لتوزيع الإجهادات على مقطع أفقي في السن: (f-a 6)  
تغير توزيع إجهاد القص الأعلى مع تغير زاوية عدم المحاذاة ضمن مستوي مستطيل الشكل يمثل الذي يحوي أكبر قيمة ناتجة لإجهاد القص الأعلى.  
الواضح أن إجهاد القص عند زاوية عدم المحاذاة المساوية للصفر، يتوزع بانتظام على امتداد التلامس، إذ تميل خطوط ثبات الإجهاد إلى الـ . وبالرجوع إلى الأشكال المتتالية نلاحظ الإجهاد، مما يدل على عدم انتظام توزيع الإجهاد وتركزه في منطقة .  
وبذلك تتزايد أكبر قيمة لإجهاد القص الأعلى مع تزايد زاوية عدم المحاذاة.

٢. **منحنيات تغير الإجهادات مع زاوية عدم المحاذاة:** يمكن من خلال هذه المنحنيات تكوين صورة واضحة عن تغير أكبر قيمة متولدة للإجهاد مع تغير زاوية عدم المحاذاة . إلى صيغ تحكم تغير الإجهادات مع تغير زاوية عدم المحاذاة يمكن توضيحها في الأشكال. **في منطقة جذر السن على جانب الشد:** يوضح الشكل (7) تزايد أكبر قيمة متولدة للإجهاد . تتعرض منطقة جذر السن على جانب الشد إلى إجهادات شد عالية ، وتتركز الإجهادات في هذه المنطقة نتيجة وجود تقوس جذر السن . ومن الواضح أن تولد زاوية (0.1 degree) يؤدي إلى زيادة (147 %) في قيمة الإجهاد تركيز الإجهاد ( $K_{sc} = 2.47$ ) . يمكن توقع حدوث فشل في جذر السن بعد تجاوز إجهاد الشد جهاد الخضوع (Yield stress). وكما هو مبين بالشكل (7) فإن الإجهاد الأساسي الأعلى قد تجاوز قيمة إجهاد الخضوع في الحالة الأخيرة لعدم المحاذاة. (8) فيوضح تغير قيمة الإجهاد المكافئ المحسوب حسب معيار (Von mises) ومن الملاحظ من الشكل أن القيم تتزايد إلا أنها لاتصل قيمة إجهاد الخضوع.

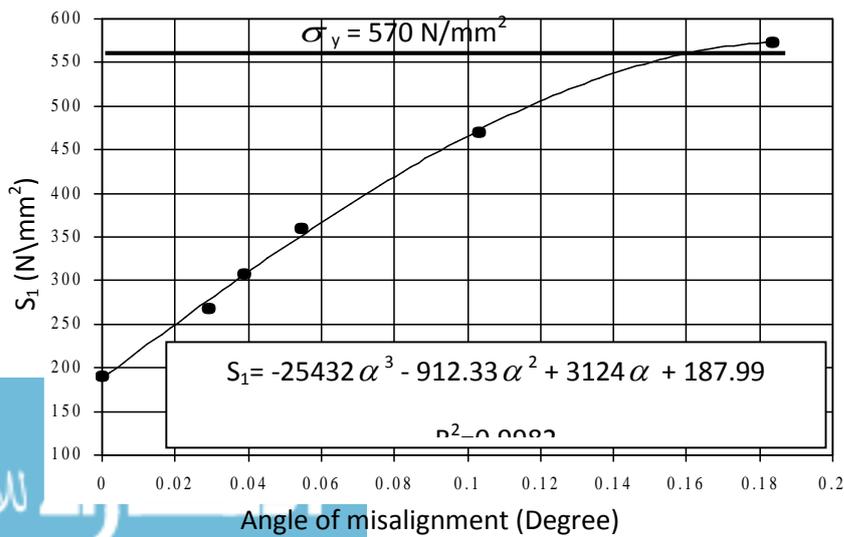
**في منطقة التلامس:** يوضح الشكل (9) تزايد أكبر قيمة متولدة لإجهاد القص الأعلى في السن. ومن الواضح أن تولد زاوية عدم محاذاة (0.1 degree) يؤدي زيادة (154 %) قيمة الإجهاد ، أو أن معامل تركيز الإجهاد ( $K_{sc} = 2.54$ ). (10) يوضح تغير قيمة متولدة للإجهاد الأساسي الأدنى في السن ، التي تكون إجهاد ضغط. إذ يولد تسليط الحمل على السن الناتج عن التلامس إجهادات ضغط عالية ، تتزايد قيمها بشكل ملحوظ مع تزايد زاوية . ومن الواضح أن تولد زاوية عدم محاذاة بمقدار (0.1 degree) يؤدي إلى زيادة (163 %) قيمة الإجهاد ، أو أن معامل تركيز الإجهاد ( $K_{sc} = 2.63$ ). كما يوضح الشكل (11) تغير قيمة الإجهاد المكافئ المحسوب حسب معيار (Von mises) . ومن الجدير بالذكر أن قيم الإجهادات في منطقة التلامس هي قيم كبيرة نسبياً ، ويعود ذلك إلى أن تمثيل الحمل لم يكن واقعياً ، فقد تم تسليط قوى متمركزة على العقد الواقعة على امتداد خط التلامس ، كما أن الحمل الذي تم تسليطه بعد إدخال تأثير الحمل الديناميكي هو حمل كبير نسبياً.

**منحنيات تغير الإجهاد الأساسي الأعلى على امتداد عرض السن:** يوضح الشكل (12) تغير توزع الإجهاد الأساسي الأعلى، الذي يكون إجهاد شد عند جذر السن على امتداد عرض السن، وفي الشكل توضيح للخط الذي وجد توزع الإجهاد عليه، وقد تم إيجاد هذه المنحنيات لعدد من زوايا عدم المحاذاة التي تمت دراستها، وباستعراض هذه المنحنيات بالتتابع وبحسب تزايد زاوية عدم المحاذاة يمكن ملاحظة تزايد قيم إجهادات الشد في جانب عرض السن الذي يتزايد انحصار التلامس فيه.

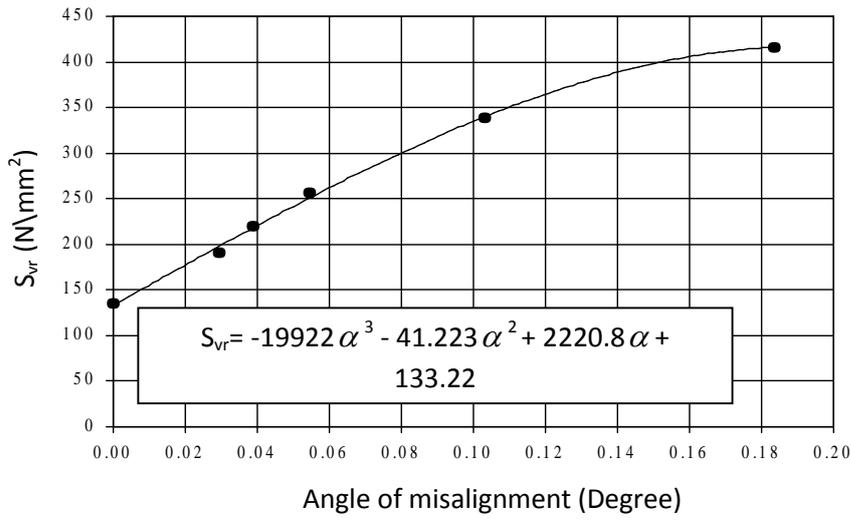
**رسومات المناسبة لتوزيع إجهاد القص الأعلى على مقطع وجهي في السن:** (f-a 13) تغير توزع إجهاد القص الأعلى، مع تغير زاوية عدم المحاذاة على المقطع الوجهي A الموضح في الشكل (14)، الذي يقع على الجانب المنحصر فيه التلامس بتزايد زاوية عدم المحاذاة، لذا وتتابع الأشكال يمكن ملاحظة تزايد تركيز إجهاد القص الأعلى في مناطق التلامس وجذر السن ، مع تزايد زاوية عدم المحاذاة .



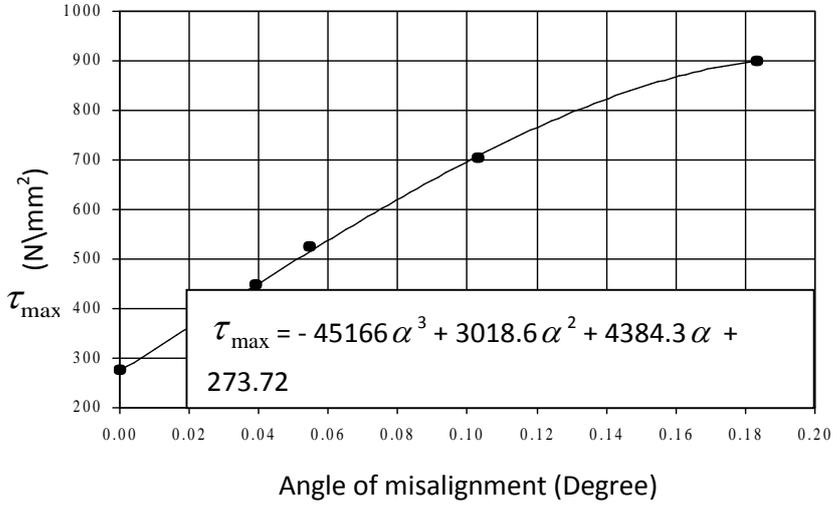




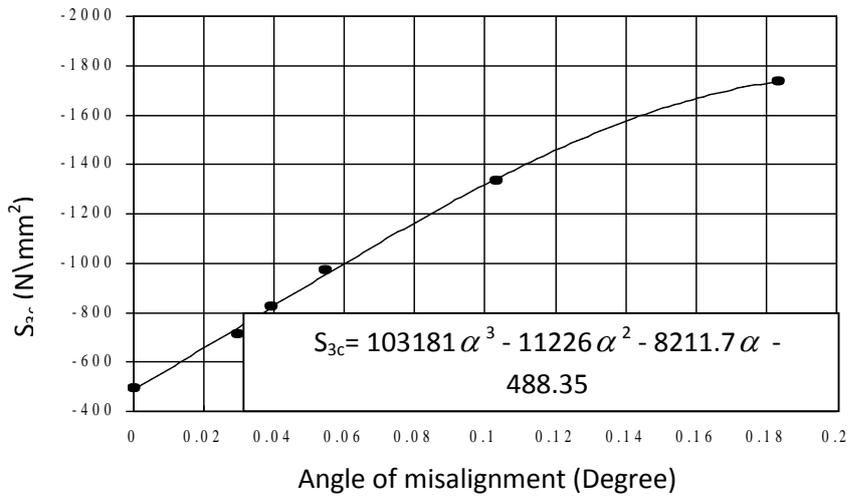
الشكل (7): تزايد أكبر  
قيمة متولدة للاجهاد  
الأساسي الأعلى  $S_1$  مع  
زاوية عدم المحاذاة



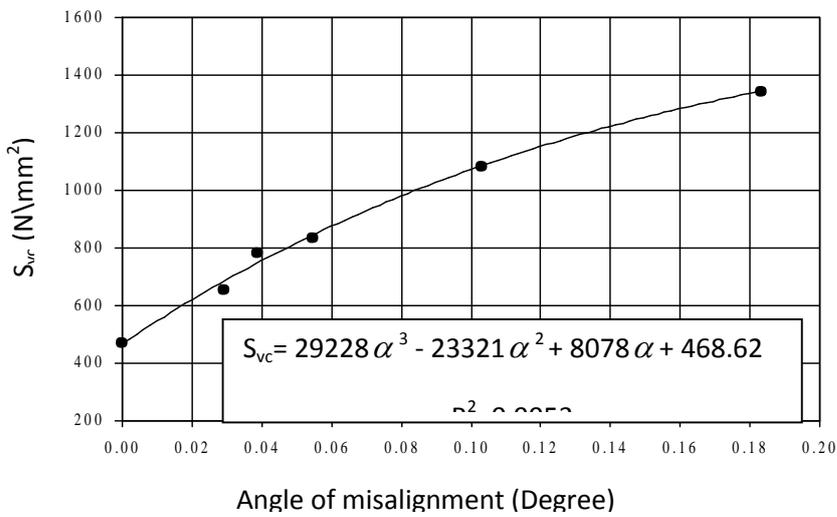
الشكل (8): تزايد قيمة الإجهاد المكافئ المحسوب حسب معيار (Von mises) السن على جانب الشد مع زاوية عدم



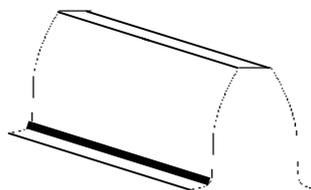
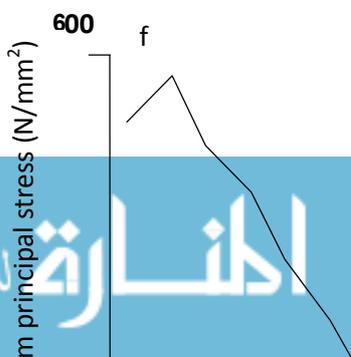
الشكل (9): تزايد أكبر  
قيمة متولدة لإجهاد  
 $\tau_{max}$   
زاوية عدم المحاذاة

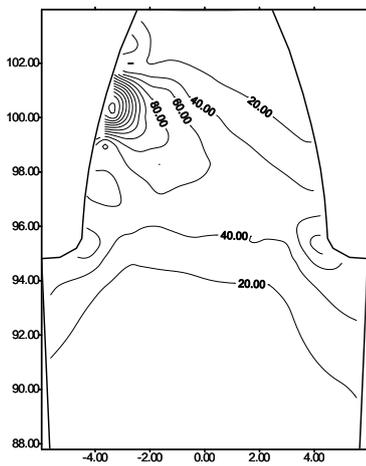
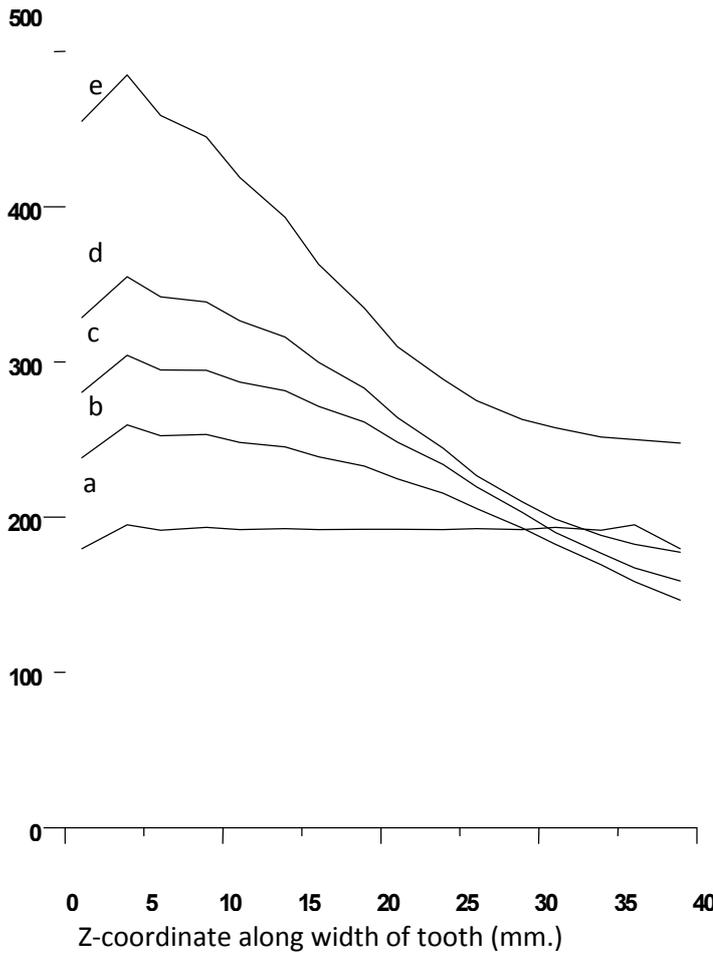


(10):  
قيمة متولدة للإجهاد  
 $S_{3c}$   
زاوية عدم المحاذاة

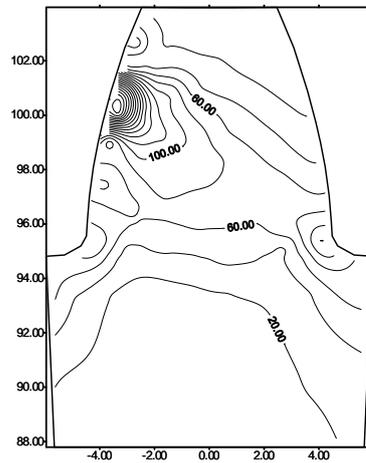


الشكل (11): تزايد  
 قيمة الإجهاد المكافئ  
 المحسوب حسب  
 معيار (Von  
 mises)  
 مع زاوية عدم

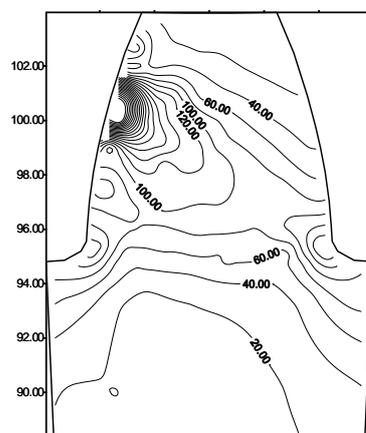
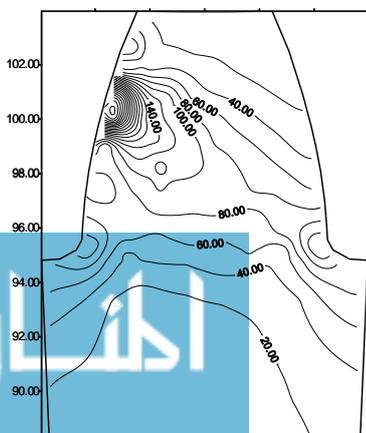




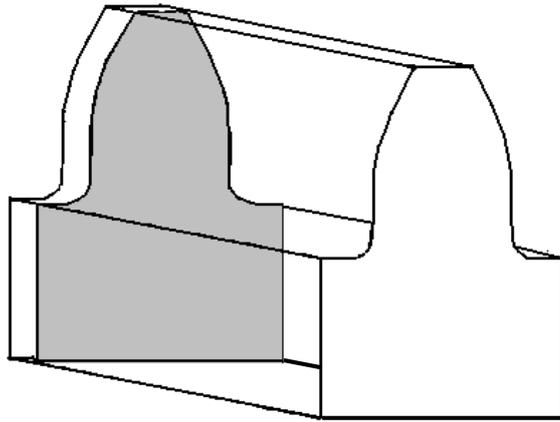
a:  $\alpha = 0.000$  degree



b:  $\alpha = 0.02933$  degree



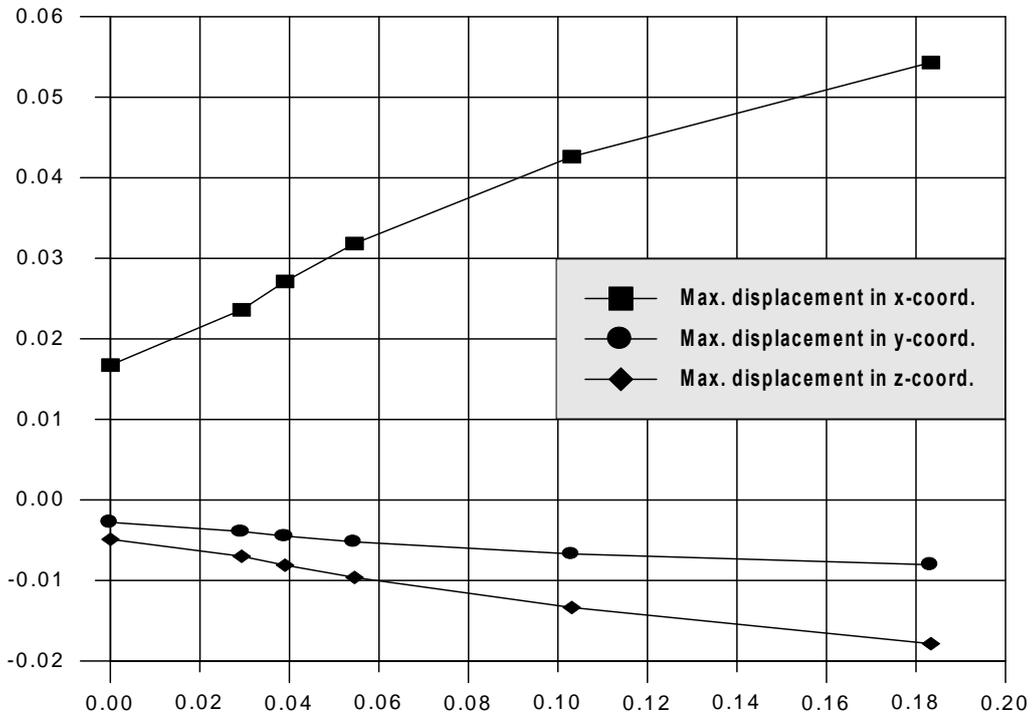




(14): المقطع الوجهي A (Z-coordinate =6.05662 mm.)



٥. منحنيات تزايد أكبر قيم للإزاحات: يوضح الشكل (15) منحنيات تزايد أكبر قيم متولدة للإزاحات باتجاه الإحداثيات الثلاثة للسن - الموضحة في الشكل (2) - ، مع تغير زاوية عدم



(15): تزايد أكبر قيم متولدة للإزاحات باتجاه الإحداثيات الثلاثة

## 6. الاستنتاجات:

بعد إجراء هذه الدراسة ومناقشة النتائج المستحصلة منها، يمكن الخروج بالاستنتاجات الآتية:

. فعالية البرنامج الذي تم تطويره في دراسة تغير توزع الإجهادات مع تغير زاوية

. تغير توزع الإجهادات المتولدة في السن وتزايد قيمها مع تغير زاوية عدم المحاذاة. إذ يزداد تركيز الإجهادات في مناطق التلامس وجذر السن على جانبي الشد والضغط . وقد وجدت صيغ تحكم تغير قيم الإجهادات مع تغير زاوية عدم المحاذاة، كما وجد أن تولد زاوية عدم محاذاة (0.1degree) يؤدي إلى زيادة % 154 في قيمة الإجهاد الأساسي الأعلى عند جذر السن % 163 في قيمة إجهاد القص الأعلى و % 147 في قيمة الإجهاد الأساسي الأدنى في منطقة

. ازدياد أكبر قيم للإزاحات المتولدة باتجاه الإحداثيات الثلاثة مع ازدياد زاوية عدم المحاذاة، مما يدل على ازدياد تشوه السن.  
. ازدياد احتمالية فشل الترس عن طريق حدوث كسر في منطقة جذر السن مع ازدياد زاوية عدم المحاذاة، إذ يؤدي تولد عدم المحاذاة إلى انحصار تسليط الحمل في جانب من سطح السن مما يؤدي إلى تركيز الإجهادات، الذي قد يتسبب في

## 7. التوصيات:

يمكن تقديم التوصيات الآتية لغرض تقليل احتمالية فشل السن:

. عمل محاذاة بصورة دورية في إطار عمل الصيانة الوقائية للوحدة التشغيلية لغرض تجنب تفاقم مشكلة عدم المحاذاة، ومن الضروري مراعاة الدقة وإتباع المواصفات القياسية عند

. إبدال السبيكة المعدنية المستخدمة في صناعة الترس بسبيكة أخرى، ذات إجهاد خضوع أعلى، لجعل السن أكثر مقاومة للكسر، وينصح باستخدام السبائك المعدنية الآتية [9]:

Alloy designation		Yield stress (N/mm <sup>2</sup> )
DIN	AISI	
1.5919 15CrNi6	3115	635
1.7220 34CrMo4	4135	665
1.5752 14NiCr14	3415	735
1.7225 42CrMo4	4140	765
1.8159 50CrV4	6150	785

(4): السبائك المعدنية التي ينصح باستخدامها في صناعة الترس

1. Wilcox L., and Coleman W., “Application of Finite Element to the Analysis of Gear Tooth Stresses ”, Journal of Engineering for Industry, Vol. 95, No. 4, pp. 1139 –1148, 1973.
2. Chabert G., Dang Tran T., and Mathis R., “An Evaluation of Stresses and Deflection of Spur Gear Teeth Under Strain”, Journal of Engineering for Industry, Vol. 96, No. 1, pp. 85 - 93, 1974.
3. Sayama T., Oda S., and Umeezawa K., “ Root Stresses and Bending Fatigue Strength of Welded Structure Gears ”, International Symposium on Gearing & Power Transmissions, Japan, Tokyo, 1981.
4. Ristivojevic M., “Development of the Theoretical Model for Determining the Stress Authoritative for Checking the Gear Tooth Volume Strength”, Mechanical Engineering Series, Vol. 1, No. 9, pp. 1135-1145, 2002.
5. Smith I.M., and Griffithis D.V., “Programming the Finite Element Method”, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A, New York, 1998.
6. Pandya N.C., and Shah C.S., “ Elements of Machine Design”, Charotar Publishing House, India, 1986.
7. Niemann G., “Machine Elements”, Allied Publishers Private, Ltd., India, New Delhi, 1980.
8. Maitra G.M., “ Handbook of Gear Design ”, Tata McGraw-Hill Company, India, NewDelhi, 1997.
9. Steel Manual, Vereinigte Edelstahl Werke (VEW), Austria, Vienna, 1986.