

استخدام النمذجة في دراسة معامل تغطية القاع لرؤوس الحفر ذات التروس المخروطية

اعداد : أ.م.د. نضال ابراهيم1

ملخص:

تتلخص عملية الحفر بتفتيت الصخر بواسطة أسنان رأس الحفر و التي تتغرس بتأثير الحمل المطبق على هذه الاسنان كجزء من وزن أعمدة الحفر. تتميز رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية بتصميم و توزيع محدد للأسنان العاملة على القاع و التي تؤدي في النهاية لتفتيته بشكل متكرر عند كل دورة من دورات رأس الحفر. يعتبر معامل تغطية القاع المؤشر الرئيسي لفاعلية عمل الدقاق و انجاز تفتيت كامل القاع خلال دورة واحدة. من الصعب كثيراً دراسة هذا المؤشر بالطرائق التجريبية التقليدية و ذلك لعدم امكانية معرفة كافة القيم الإجهادية و قيم التشوهات المتغيرة لحظياً أثناء عمل السن على القاع. اعتمدنا في هذه الدراسة على علم النمذجة الرقمية و قدرته على اظهار النتائج بشكل جيد و المخططات اللازمة في اي لحظة أثناء انغراس السن في القاع. درسنا في هذه المقالة معامل تغطية القاع لنوعين من الاسنان و هي الكروية و المخروطية و قمنا بمقارنة لحساب معامل تغطية القاع لكل منهما.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، معامل التغطية، تفتيت الصخور.

Using modeling to study the coefficient of covering the well bottom(CCB) for Tricone Bits (TCB)

Summary:

Summed up the drilling process by the fragmentation of the rock by the teeth of bit which implants under the load applied to the teeth as part of the weight of drill collars . the Tricone Bits (TCB) are characterized by a specific design and distribution of teeth, which leads to fragment the bottom at each cycle done by the bit. The CCB is the main indicator of the effectiveness of the action of the bit and the completion of the fragmentation of the entire bottom during a single cycle. It is very difficult to study this indicator by traditional experimental methods, because it is not possible to know all the determinative values and the values of the deformations changing momentarily during the action of the tooth on the bottom. In this study we have relied on the modeling and its ability to show results well and diagrams necessary at any moment during the implantation of tooth in the bottom. In this article, we studied the coefficient of covering the well bottom(CCB)for two types of teeth: spherical and conical.

Keywords: modeling, coefficient of covering the well bottom (CCB), fragmentation of the rock.

1- مقدمة :

تختلف رؤوس الحفر بعدد من المواصفات كنوعية الراس و نظام الغسيل و نوعية الاسنان المستخدمة. يستخدم راس الحفر او الدقاق عند نظام حفر محدد بعدد دورات الدقاق و غزارة المضخات المستخدمة و خواص سائل الحفر و اخيرا الحمل المطبق على الدقاق. يعتبر اختيار الحمل المطبق على الدقاق من الامور الهامة جدا لما لها من تأثير مباشر على عملية حفر الصخر و بالتالي على سرعة تقدم الدقاق. تعتمد عملية تصميم الاسنان في راس الحفر على العلاقة المتبادلة بين الصخر و السن أثناء عملية التفتيت و بالتالي على المؤشرات الكمية كالإجهادات و التشوهات المرنة و اللدنة للصخور. تشترك اسنان الراس في تغطية كاملة للقاع و بالتالي قشط سماكة محددة من الطبقة وفقا لعمق انغراس الاسنان أو لعمق نواة التفتيت و امتدادها. يتحدد هذا العمق من خلال نوع السن المستخدم و مواصفات الصخور الميكانيكية.

إن معرفة الحقل الإجهادي تحت السن و عمق انغراس السن تساهم في معرفة العلاقة المتبادلة بين السن و الصخر و تساهم في فهم عملية التفتيت بشكل افضل. سوف ندرس في هذا البحث كيفية حساب معامل تغطية القاع كمؤشر مهم جداً عند تقييم فاعلية رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية. سنتناول نوعين من الأسنان (مخروطية و كروية) بحيث كل نوع يعبر عن مفهوم مختلف لكيفية تفتيت القاع و بالتالي حساب معامل تغطية القاع له.

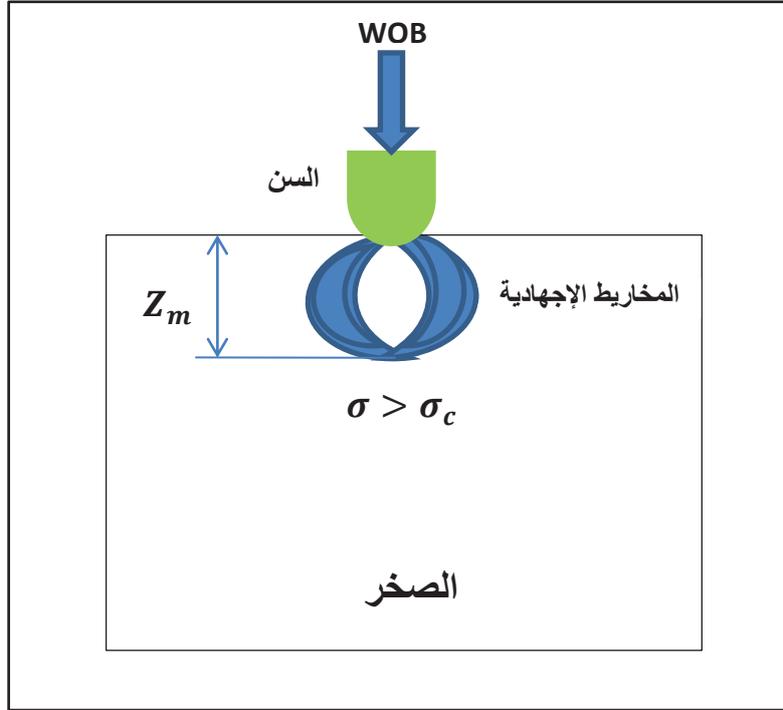
2- هدف البحث:

يهدف البحث دراسة معامل تغطية القاع عند نوعين رئيسيين لتفتيت القاع بأسنان رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية و ذلك عن طريق استخدام علم النمذجة و المحاكاة لعملية دخول السن في الصخر حيث تم دراسة نوعين من الاسنان الكروية و المخروطية.

3- آلية عملية تفتيت السن للقاع [4]، [3]، [1] :

سوف نميز بين آليتين لتفتيت القاع بأسنان رأس الحفر:

أ- التفتيت الناتج عن الحالة الإجهادية داخل الصخر: أثناء تماس الصخر مع السن تبدأ علاقة معقدة بين السن و القاع و يمكن التعبير عنها من خلال نظرية التلامس بين الاجسام الصلبة حيث أنه مع زيادة الحمل على الدقاق تبدأ المخاريط الإجهادية تتشكل في نقاط التماس بين السن و الصخر و من ثم تتطور هذه المخاريط الإجهادية و تزداد قيمة الاجهادات فيها و يزداد عمق هذه الاجهادات بعد الوصول الى الحمل الحدي لتفتيت الصخر نلاحظ أن هذه المخاريط الإجهادية قد تلاقت عند العمق الحدي للتفتيت (Z_m) (و الذي يشكل سماكة الطبقة المفتتة) و تشكلت ما يسمى نواة التفتيت حيث ان قيمة الاجهادات في هذه النواة تتجاوز قيمة الاجهاد الحدي لتفتيت الصخر. نلاحظ أن حجما من الصخر قد تم تفتيته و يتناسب هذا الحجم مع مواصفات الصخر الميكانيكية و شكل المخاريط الإجهادية المتشكلة. و يجب التشديد هنا بأن العمق الحدي للتفتيت (Z_m) هو عمق المخاريط الإجهادية و ليس عمق انغراس السن الشكل (1) و يحدث ذلك في الصخور القاسية و القاسية جداً. تختلف المخاريط الإجهادية من حيث الشكل و العمق و ذلك باختلاف الصخر و مواصفاته الميكانيكية من جهة و حسب شكل السن المعدني من جهة اخرى.

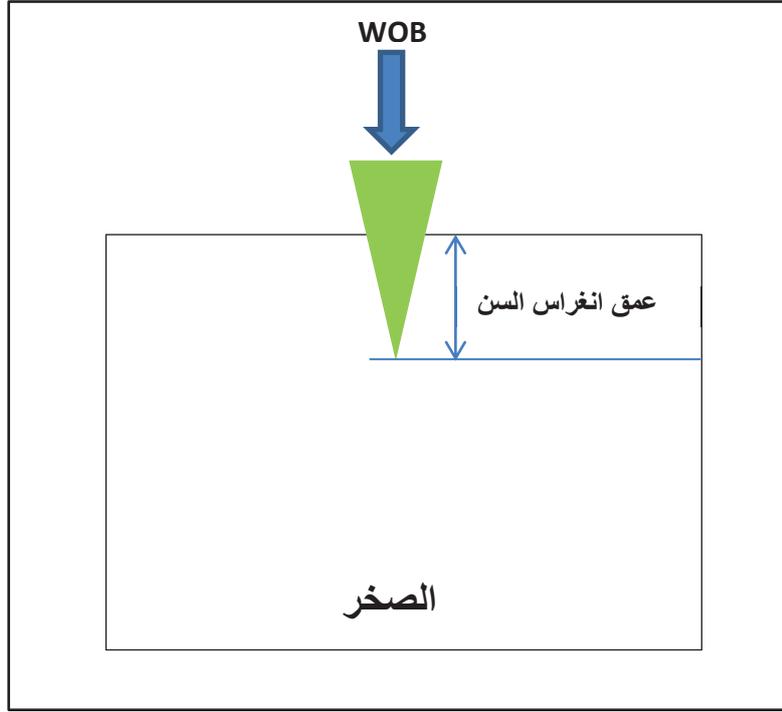


الشكل (1) التفتيت الناتج عن الحالة الإجهادية تحت السن

ب- التفتيت الناتج عن انغراس السن داخل الصخر:

في هذه الحالة يتم التفتيت نتيجة انغراس السن داخل الصخر و ذلك لأن الصخر يكون طري أو متوسط القساوة و بالتالي يستطيع السن بسهولة اختراق الصخر و بالتالي يكون عمق التفتيت هو عمق انغراس السن نفسه و هذا يفسر كون الأسنان المستخدمة في رؤوس الحفر المخصصة للطبقات الطرية هي أسنان طويلة و نهايتها مدببة (لتسهيل عملية الانغراس). الشكل (2)

يجب التنويه أخيراً أن هذين الأثرين (النواة الإجهادية و عمق الانغراس) متشابكين دائماً و يتم تفضيل و إظهار أحدهما على الآخر وفق الشكل الهندسي للسن و مواصفات الصخور المحفورة.



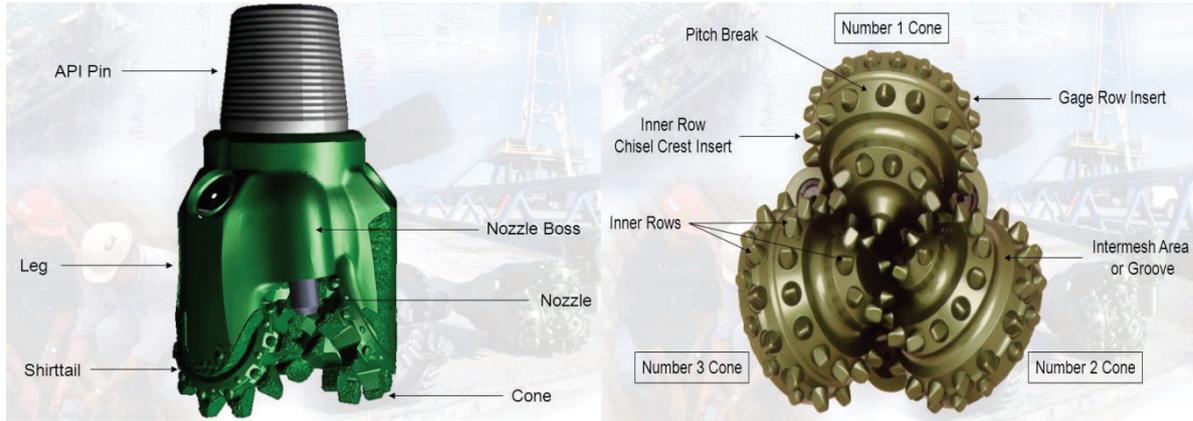
الشكل (2) التفهيم الناتج عن انغراس السن في الصخر

4. حساب معامل التغطية لرؤوس الحفر ذات التروس المخروطية [1], [7]:

تتألف رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية (TCB) الشكل (3) من 1- شرار الوصل مع تشكيلة الحفر 2- جسم الرأس 3- نظام الغسيل 4- التروس 5- الأسنان تتوزع الأسنان على التروس بحيث و عند عملها على القاع يجب أن تحقق تغطية كاملة للقاع بعد دورة واحدة و يعبر عن ذلك معامل تغطية القاع (CCB) و يعطى بالعلاقة العامة التالية:

$$CCB = \frac{S_t * n}{S_B} \quad (1)$$

CCB : ممل تغطية القاع، S_f المساحة المغطاة من السن الواحد، n عدد الأسنان العاملة على القاع، S_B مساحة قاع البئر

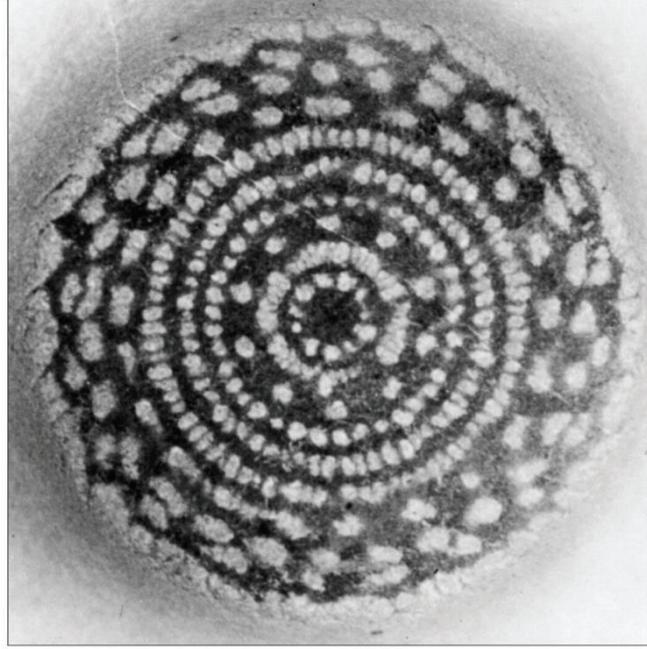


الشكل (3) رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية [7]

من العلاقة 1 نلاحظ أن دراسة معامل تغطية القاع ليست بسيطة حتى في حالة تفتيت القاع نتيجة الانغراس و تصبح عملية شبه مستحيلة عند تفتيت القاع بنواة التفتيت الإجهادية لأن هذه النواة عبارة عن مخاريط إجهادية داخل الصخر، لذلك قمنا بدراسة هذا المعامل من خلال علم النمذجة و قدرنا أثر كل سن في تغطية القاع سواء بانغراس السن أو بحجم نواة التفتيت الإجهادية (تقدير قيمة S_f).

يأخذ معامل تغطية القاع قيمة أصغر من 1 أحياناً و لكن هذا يعني أن الرأس يلزمه أكثر من دورة لتفتيت كامل القاع و قد يصل هذا المعامل الى 3 عند تكامل عمل الأسنان جميعها و تغطيتها القاع و هذا يعني أن عدد الأسنان المجهز بها رأس الحفر و كثافتها كبيرة.

يظهر الشكل (4) طبعة لأسنان رأس الحفر بعد انجاز دورة كاملة و يظهر مناطق غير مضروبة بالأسنان و مع ذلك يمكن أن تكون مفتتة بنتيجة نواة الحالة الإجهادية.



الشكل (4) طبعة لأسنان رأس الحفر بعد انجاز دورة كاملة

5- نمذجة انغراس السن و تقدير قيمة (S_t) :

إن مراحل أي عملية النمذجة هي [5] [6]:

- 1- بناء الجيومتري (الشكل الهندسي) للظاهرة المدروسة.
- 2- تحديد قانون تصرف المادة المراد استخدامه وتحديد عناصره و متغيراته.
- 3- تحديد المراحل المختلفة لتطبيق القوى المؤثرة.
- 4- تحديد العلاقة بين مختلف أجزاء الحيز الهندسي (عندما يتألف من أكثر من جزء).
- 5- تحديد الشروط الحدية على حدود الجيومتري من انتقالات و قوى.
- 6- بناء الشبكة الهيكلية للحيز الهندسي (تقسيم الحيز الهندسي إلى عناصر منتهية).
- 7- تنفيذ عملية النمذجة وإخراج النتائج.

لقد استخدمنا بيئة للنمذجة تسمى (ABAQUS) و تعتبر من البيئات الجيدة لإجراء عمليات النمذجة و المحاكاة.

الصخر المدروس هنا هو الصخر الكلسي و هو صخر متجانس و لهذا السبب تم اختياره لأنه صخر متجانس ميكانيكياً و بالتالي يحتاج لعدد أقل من البارامترات لوصف سلوكياته و يمكن اختيار صخور أخرى و لكن الموديل الرياضي سوف يتعد أكثر.

ان الموديل الرياضي المستخدم هو من نوع دروكر- براغر مع تقسية متجانسة. ان المغلف الاجهادي يعطى بالعلاقة (2) [5] [6].

$$f = q + \alpha^p (\gamma^p)(p - c_p) \quad (2)$$

حيث :

α^p هي القوى الداخلية المرتبطة ببارمتر للتقسية γ^p .

p هو الضغط الوسطي $p = tr(\underline{\underline{\sigma}})/3$.

q و $s = \sqrt{\frac{3}{2} s : s}$ هو المركبة المنحرفة لتتنسور الاجهاد (تعبير عن القوى غير المتساوية و

التي تطبق على الصخر المدروس و لمزيد من المعلومات يمكن العودة للمرجع [6]).

c_p هو الترابط الداخلي للمادة.

إن التقسية تعطى بالعلاقة التالية (إن التقسية تعتبر ظاهرة طبيعية موجودة في بعض الصخور و بالتالي يجب التعبير عن هذه المرحلة في النماذج الرياضية لسلوكية هذه الصخور) :

$$\alpha^p = \alpha_0^p + (\alpha_m^p - \alpha_0^p) \frac{\gamma^p}{b + \gamma^p} \quad (3)$$

α_0^p تناسب الحالة الاساسية للمغلف الاجهادي (يعبر عن السطح الفاصل بين الحالة المرنة و الحالة اللدنة).

α_m^p تناسب الحالة النهائية للمغلف الاجهادي عندما α^p تصبح α_m^p اي وصلنا الانهيار.

b بارامتر يسيطر على تطور منحنى التقسية.

و تابع الكمون البلاستيكي (يصف التشوهات اللدنة و كيفية تطورها و يساعدنا على حساب هذه التشوهات اللدنة و لا يمكننا قياسه و لكن يتم حسابه حسابياً) هو :

$$g = q + \beta^p (\gamma^p) p \quad (4)$$

$$\beta^p = \alpha^p - \beta_0^p \quad (5)$$

اذا من اجل هذا الموديل لا بد من تحديد ما يلي : البارامترات المرنة E et n (هما معامل بواسون و معامل يونغ) و خمس بارامترات لدنة :

$\alpha_0^p, b, \alpha_m^p$, بارامترات التقسية

β_0^p بارامتر الكمون البلاستيكي

c_p بارامتر المغلف الإجهادي.

تم تحديد قيم هذه البارامترات و كانت [5]:

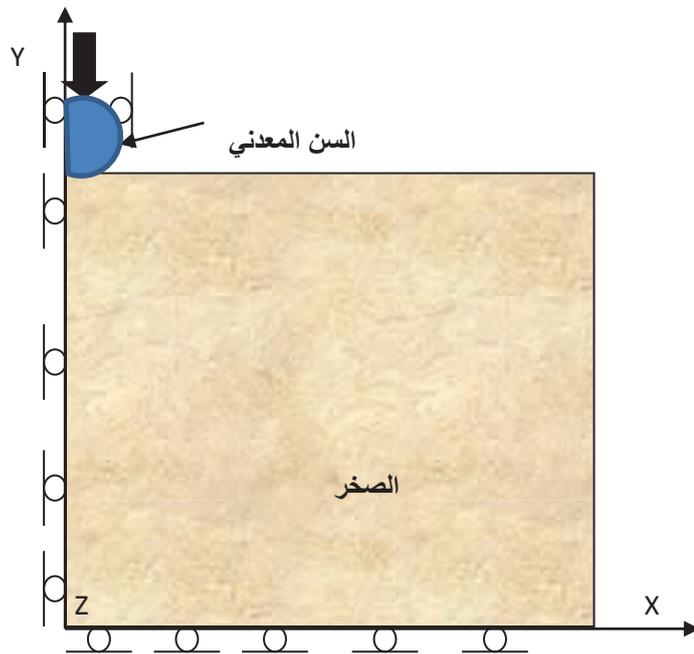
$$\alpha_0^p = 0.5, \alpha_m^p = 1.1, b = 0.7, \beta_0^p = 0.39, C_p = 7.5, E = 3540 \text{ MPa}, n = 0.12.$$

سوف نقوم بنمذجة سن كروي بنصف قطر للكرة يساوي 0.001 متر و سن مخروطي ذو زاوية 45 درجة.

يبين الشكل 5 الشكل الهندسي للسن المسطح و الصخر المدروس و هو ضمن اطار التناظر اي ان للشكل قسم اخر مقابله و متطابق معه. إن الشكل 5 شكل تخطيطي هدفه إظهار كيفية توضع السن بالنسبة للصخر المدروس و يجب التنويه بأن أبعاد الشكل تعتمد على أبعاد السن و لكن و بشكل عام يجب أن تكون أبعاد الصخر أكبر بخمس مرات على الأقل من أبعاد السن المستخدم [3] و ذلك كي نتمكن من فرض أن الشروط الحدية عند حدود النموذج هي قيم معدومة للانتقالات .

بعد ذلك قمنا بتطبيق الشروط الحدية (Boundary Conditions) حيث :

- تم تثبيت حدود النموذج بحيث تكون قيمة الانتقالات عند الحدود معدومة (تم اختيار أبعاد النموذج بهدف جعل قيمة الانتقالات عند الحدود تساوي الصفر أي أن الحدود بعيدة كفاية عن تأثير السن).



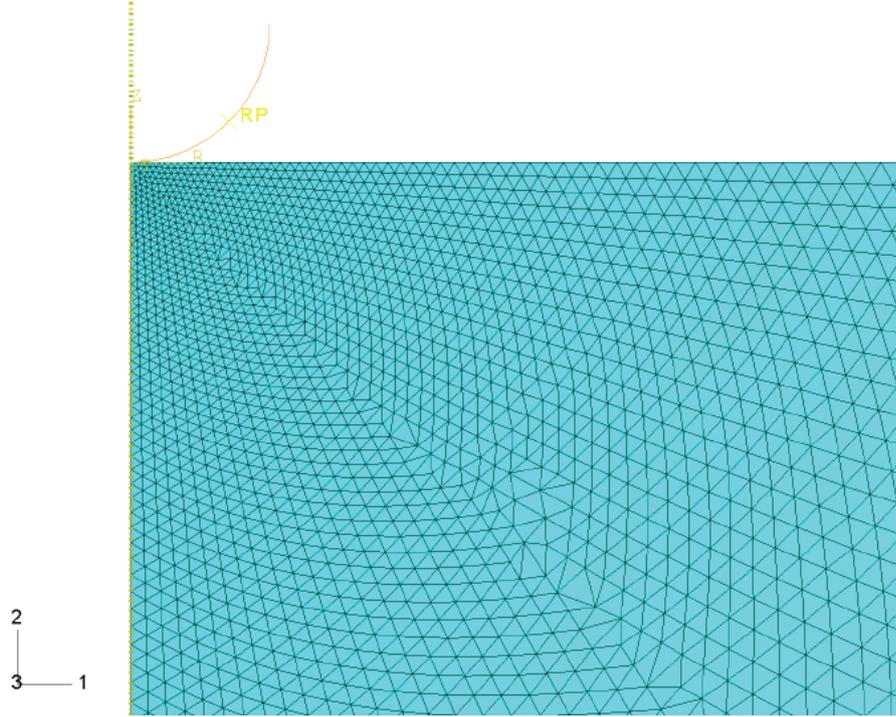
شكل (5) يبين الشكل الهندسي للسن الكروي المستخدم في النمذجة

و يتم انجاز النمذجة على مرحلتين :

المرحلة الأولى: حيث يتم تطبيق قوة لغرس السن تدريجياً إلى العمق بحيث نحصل على تفتيت للصخر.

المرحلة الثانية : يتم رفع السن رقمياً تدريجياً حتى الموضع الاساسي له.

في الخطوة اللاحقة يتم تصميم و اختيار الشبكة الهيكلية حيث أننا كثفنا هذه الشبكة بجوار و تحت سن رأس الحفر. وتم استخدام عناصر ثلاثية الأضلاع عددها 10000 عنصر حيث يبين (الشكل 6) هذه الشبكة المستخدمة للسن الكروي.



شكل (6) يوضح الشبكة الهيكلية للحيز الهندسي المدروس للسن الكروي.

5. تقدير قيمة معامل تغطية القاع:

بعد تطبيق عملية النمذجة وحساب حقول تساوي الإجهادات والتشوهات والانتقالات نختار إظهار الحالة الإجهادية في نهاية حالة التحميل تحت سن الحفر، و بالتالي تقدير مساحة و حجم الصخر المفتت.

بالنسبة للسن الكروي نلاحظ الشكل (7) امتداد المخاريط في العمق و قيمة الاجهاد الاعظمي هي 55 ميغا باسكال و تتركز في محيط دائرة التماس الخارجية للسن مع الصخر و في العمق قيمة

الاجهاد في النواة القريبة هو 29 ميغا باسكال. أي أن الصخر قد تم تفتيته على محيط نواة التفتيت الإجهادية الممتدة في العمق ذات القيمة 29 ميغاياسكال و بالتالي يمكن اقتلاع هذه الفتاتة من القاع و لا حاجة لأن يتم حفرها بسن آخر.

إن عمق نواة التفتيت يساوي تقريباً 1.5 ملم و يشكل عشر أضعاف قيمة انغراس السن . يمكن اعتبار نواة التفتيت ككرة و بالتالي فحجم الفتاتة هو حجم كرة نصف قطرها 1.5 ملم، لذلك يمكننا هنا اعتماد مفهوم معامل تغطية القاع الفعلي و الذي يعني قيمة المساحة الفعلية (تحت سطح القاع) التي تم تفتيتها و هي في حالتنا هنا مساحة دائرة نصف قطرها 1.5 ملم.

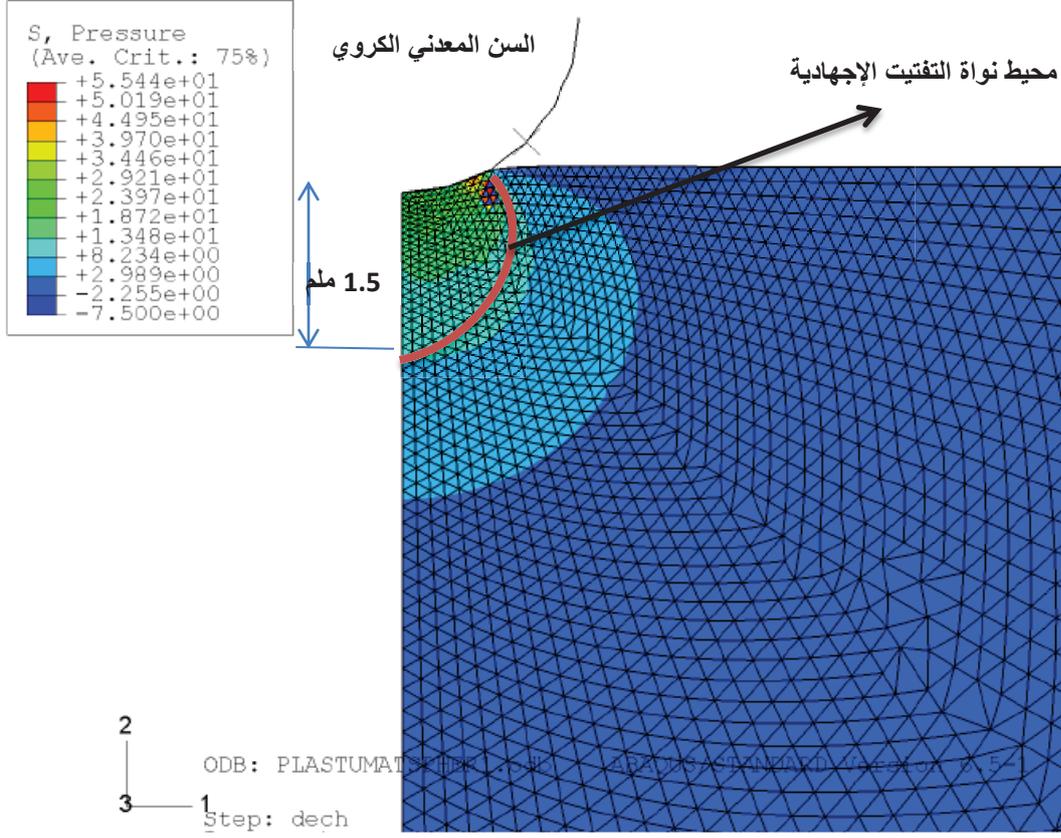
و يمكننا حساب تقدم الدقاق و ربطه بعدد الدورات و حساب عدد الأسنان عند معامل تغطية يساوي الواحد (يتم تفتيت سماكة من الصخر تساوي قطر دائرة المخروط الإجهادي المتشكل).

على سبيل المثال نأخذ عدد دورات رأس الحفر على القاع تساوي 100 دورة/دقيقة فنجد:

$$100 \text{ (دورة/دقيقة)} * 1.5 \text{ ملم} = 150 \text{ ملم} = 15 \text{ سم/دقيقة}$$

طبعاً هذه حالة مثالية للعمل و تشترط تنظيف أمثلي للقاع كي لا يتم حفر الفتاتات مرة ثانية قبل تنظيفها .

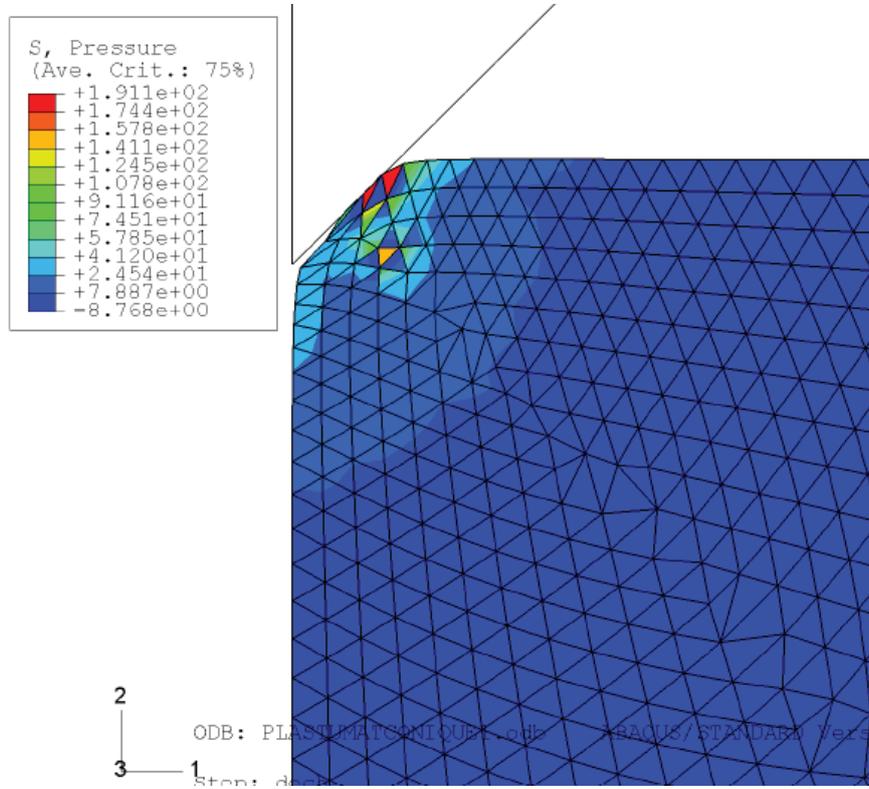
من حساب بسيط يتم تقسيم مساحة القاع على مساحة نواة التفتيت فيتم ايجاد عدد الأسنان الأصغري اللازم لتفتيت كامل القاع و بعدها يتم توزيع هذه الأسنان على التروس بحيث يتكامل عملها و تفتت القاع و يمكننا أخذ معامل أمان بزيادة معامل التغطية 20 بالمائة مثلاً.



الشكل 7 نواة التفتيت الاجهادية للصخر تحت السن الكروي في نهاية حالة التحميل.

أما بالنسبة للسن المخروطي فقد تمت عملية النمذجة على نفس الصخر و ذلك لنتمكن من المقارنة و يمكن تبرير اختيارنا بأن السن المعدني تم اعتباره جسم غير قابل للتشوه مع ملاحظة إمكانية تعديل نوع الصخر و أخذ مواصفات صخر طري ليحاكي الواقع أكثر. نلاحظ على الشكل(8) و نتيجة شكل السن المخروطي تناسب شكل المخاريط الإجهادية مع شكل السن المخروطي. إن قيمة الاجهاد الاعظمي هي 191 ميغا باسكال و تتركز في محيط تماس السن مع الصخر، و لكن قيمة الإجهادات في العمق تساوي تقريبا 24 ميغا باسكال و لكنها تمتد محاذية لجسم السن و عند نفس قيمة انغراسه. نخلص من هنا أن السن يفتت الصخر بجسمه إلى العمق الذي يصله و بالتالي يتم حساب معامل تغطية القاع بحساب مساحة مقطع السن بعد الانغراس في

القاع و ضربه بعدد هذه الأسنان.
 يسمح للأسنان أن تنغرس بحدود 75 % من طولها و ذلك لضمان ابتعاد جسم الترس عن القاع و
 مراعاة للاهتزازات التي يتعرض لها الرأس أثناء عملية الحفر، و بالتالي يمكن ببساطة حساب
 مساحة مقطع السن بعد انغراسه في الصخر و تقدير معامل التغطية.
 إن حساب تقدم الدقاق يتم بنفس الآلية السابقة آخذين بعين الاعتبار أن عمق انغراس السن يساوي
 سماكة الطبقة المفتتة من القاع.



الشكل 8 الحالة الاجهادية للصخر تحت السن امخروطي في نهاية حالة التحميل.

الاستنتاجات والتوصيات :

مما سبق يمكن أن نخلص إلى جملة من الاستنتاجات:

- 1- في هذه المقالة استطعنا و من خلال استخدام علم النمذجة حساب و تقدير معامل تغطية القاع وفق آليتين للتفتيت بالمخاريط الإجهادية و بجسم السن المعدني.
- 2- يتعلق معامل التغطية بشكل حاسم بنوع الصخر المدروس و مواصفاته الميكانيكية.
- 3- من معرفة معامل تغطية القاع يمكن اختيار عدد الأسنان لرأس الحفر و توزيعها بالشكل المناسب.
- 4- لا بد من تحديد بارامترات النموذج الرياضي المستخدم في النمذجة للصخر المدروس و هذا يتطلب أجهزة مخبرية مناسبة.
- 5- نوصي بتطبيق البحث على صخور من آبار سورية ليتم الاستفادة منه في حقولنا.

6. المراجع:

- 1- د. هيسم عازار، 1996، ميكانيك تفتيت الصخور. منشورات جامعة البعث-كلية الهندسة الكيميائية و البترولية، الطبعة الأولى، 204 صفحة.
- 2- د. نضال ابراهيم، 2015، استخدام النمذجة في دراسة تأثير شكل سن رأس الحفر على الحقل الإجهادي تحت السن. مجلة جامعة البعث، المجلد 37.

- 3-Boussinesq J. (1885), Applications des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques, Gauthier-Villars, Paris 1885
- 4-Fjaer E. et al, 2008- Petroleum Related Rock Mechanics, 2nd Ed. 515p.
- 5- IBRAHIM N.2008,Caractérisation des propriétés mécaniques des Géomatériaux par technique de micro indentation. Thèse doctorat. LML lille.
- 6-Springman S-2009- Modelling in geotechnics. Institute of Geotechnical Engineering, 175p.
- 7-Larry W. Lake - Petroleum Engineering Handbook, Volume II, Editor-in-Chief, ISBN 978-1-55563-126-0 (Complete 7-Vol. Set, print)