التشوه
(Deformation)

التشوه (Deformation)

هو التغير الحاصل في هندسة الصخور
تغيير في الحجم dilation
او في الشكل Distortion
او كليهما
و يمثل مقدار الفرق بين ضغط الجهد (Stress) و مقاومة الاجهاد (Strain)
اذ يعتمد مقدار التشويه على عوامل اهمها الضغط والحرارة (عمق الصخور) والتركيب المعدني للصخور.

أنواع التشوه (Types of Deformation)

1-التشوه المرن (Elastic Deformation)

2-التشوه الهش (Brittle Deformation)

3-التشوه اللدن (Ductile or Plastic Deformation)

1-التشوه المرن (Elastic Deformation)

هو التشوه المؤقت الناتج عن الجهد التفاضلي بمقدار اقل من حد المرونة (Elastic limit) او ما يسمى بنقطة الخضوع yield). point)

وعندها تتشوه الصخور بما يشبه ميكانيكية انقباض النابض و انبساطه.

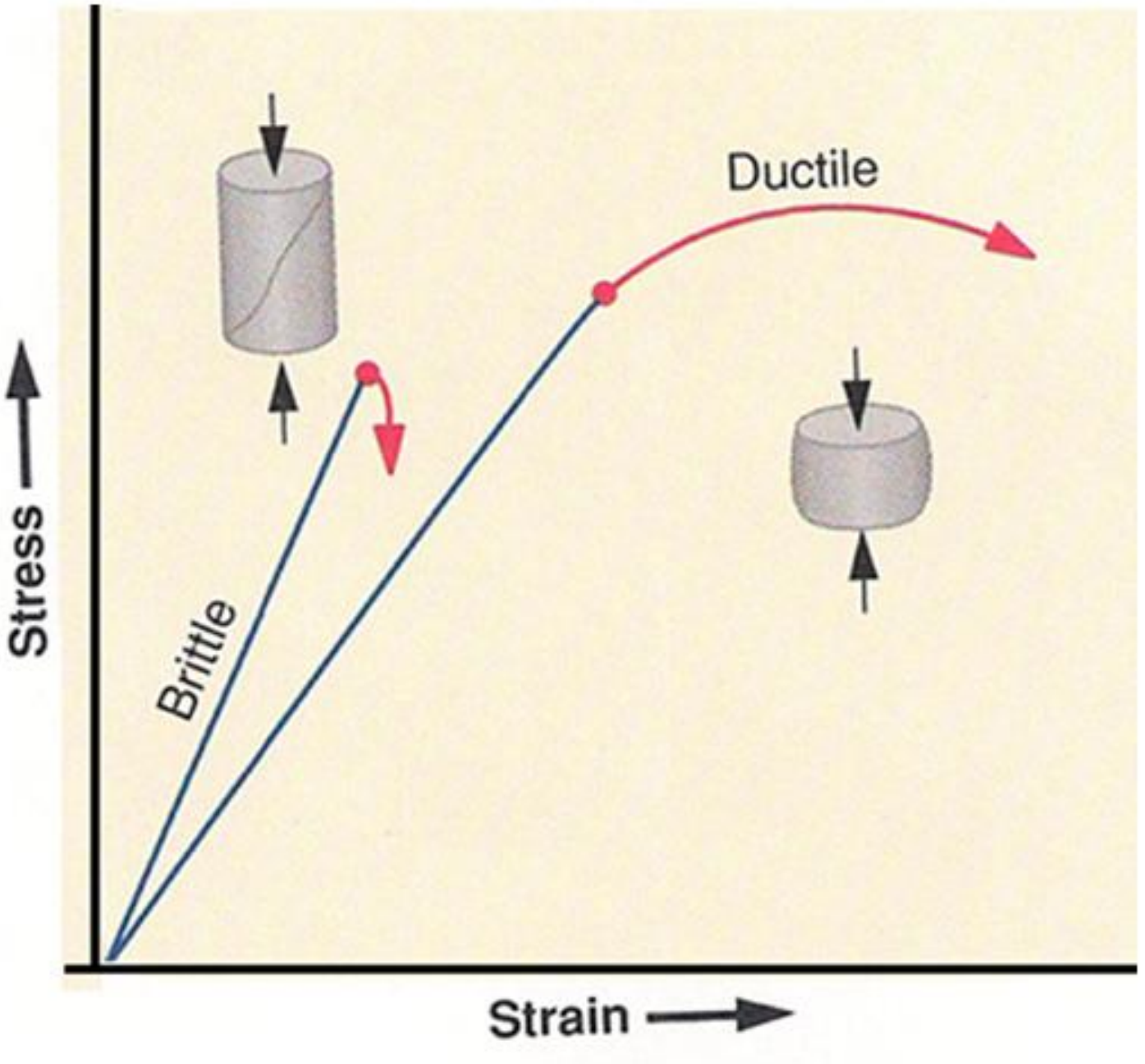
اذ يتغير الشكل او الحجم بمقدار بسيط ، سرعان ما تعود الصخور الى شكلها الاصلي بمجرد رفع الجهد عنها.

2-التشوه الهش (Brittle Deformation)

هو التشوه الناتج عن الجهد التفاضلي بمقدار اكبر من حد المرونة (Elastic limit)
اذ يكون التشوه على هيئة كسور تحدث في الصخور الهشة القريبة من السطح مع ملاحظة ان الجزء الصخري الذي لم يتكسر سيعود الى شكله الاصلي بارتداد مرن مسببا الهزات الارضية (Earthquakes).

3-التشوه اللدن (Ductile or Plastic Deformation)

يحدث التشوه اللدن في الاعماق التي تزيد عن ١٠ كم و في الجزء الاسفل من القشرة الارضية والجزء العلوي من الوشاح (uppermost mantle)
اذ يعمل الجهد الصخري المستقر على مقاومة اتساع الكسور و الفواصل و بسبب الحرارة العالية تصبح الصخور لدنة و اكثر قابلية للسحب فعند تعرضها الى اجهادات متباينة (differential stress) اعلى من نقطة الاستسلام تحدث عملية التشوه بشكل انسياب (flow) و تمدد (stretched).


Ductile
Brittle
Stress
Strain

حد المرونة (elastic limit)
و مقاومة الخضوع العظمى (Ultimate yield strength):

تتشوه الصخور اللدنة باسلوب التشوه المرن حتى الوصول الى نقطة الخضوع (الاستسلام) العظمى و التي يكون فيها مقدار الجهد المسلط مساويا لقيمة مقاومة الخضوع العظمى.

بعدها ومع زيادة الجهد التفاضلي يكون التشوه اللدن هو السائد
اي ان الصخورلا تعود الى شكلها الاصلي بعد زوال الجهد او الضغط المسلط.

أنواع الصخور بناء على عمليات التشوه

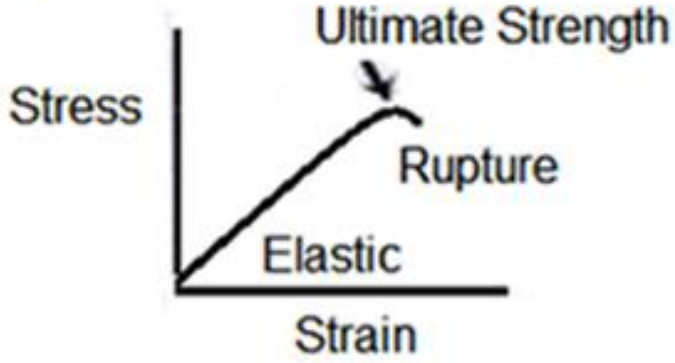
الصخور اللدنة (Ductile rocks):

هي الصخور التي يظهر عليها سلوك التمدد و الانسياب و الذي يعرف بالتشوه اللدن قبل الكسر وغالبا ما تتواجد في اعماق الارض.

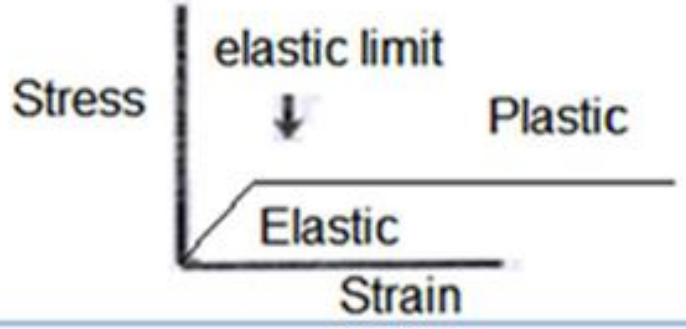
الصخور الهشة (Brittle rocks):

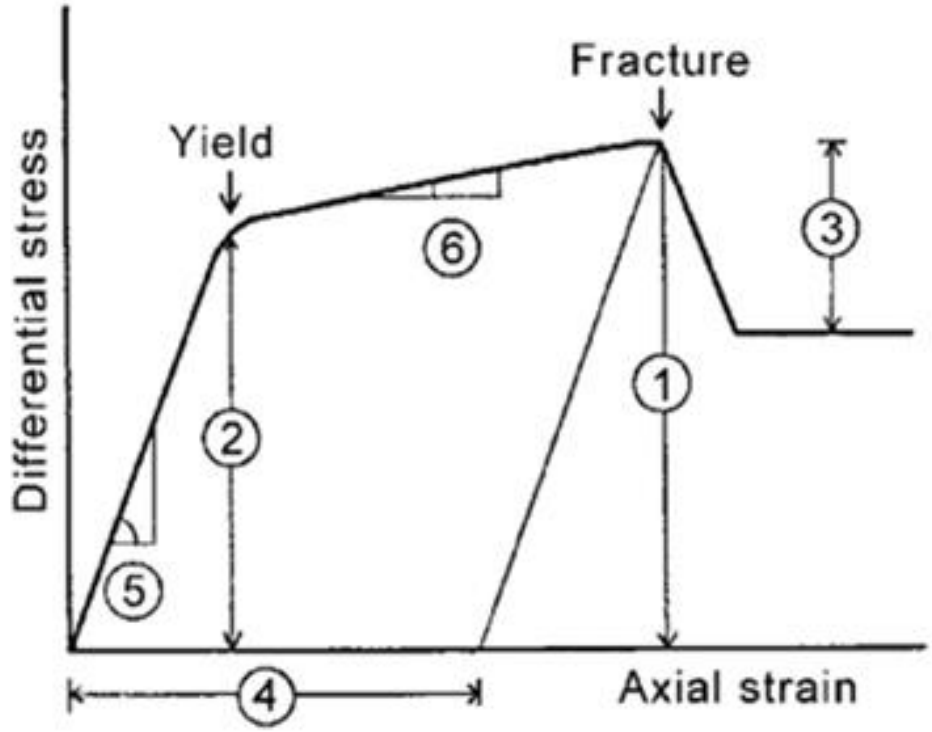
هي الصخور التي لها قابلية على اظهار السلوك المرن تتبعها عملية تصدع و تكسر (Faulting and Fracturing) او تفصم (Rupturing) وغالبا ما تكون بالقرب من سطح الارض .

Brittle rocks explain elastic behavior before rupture



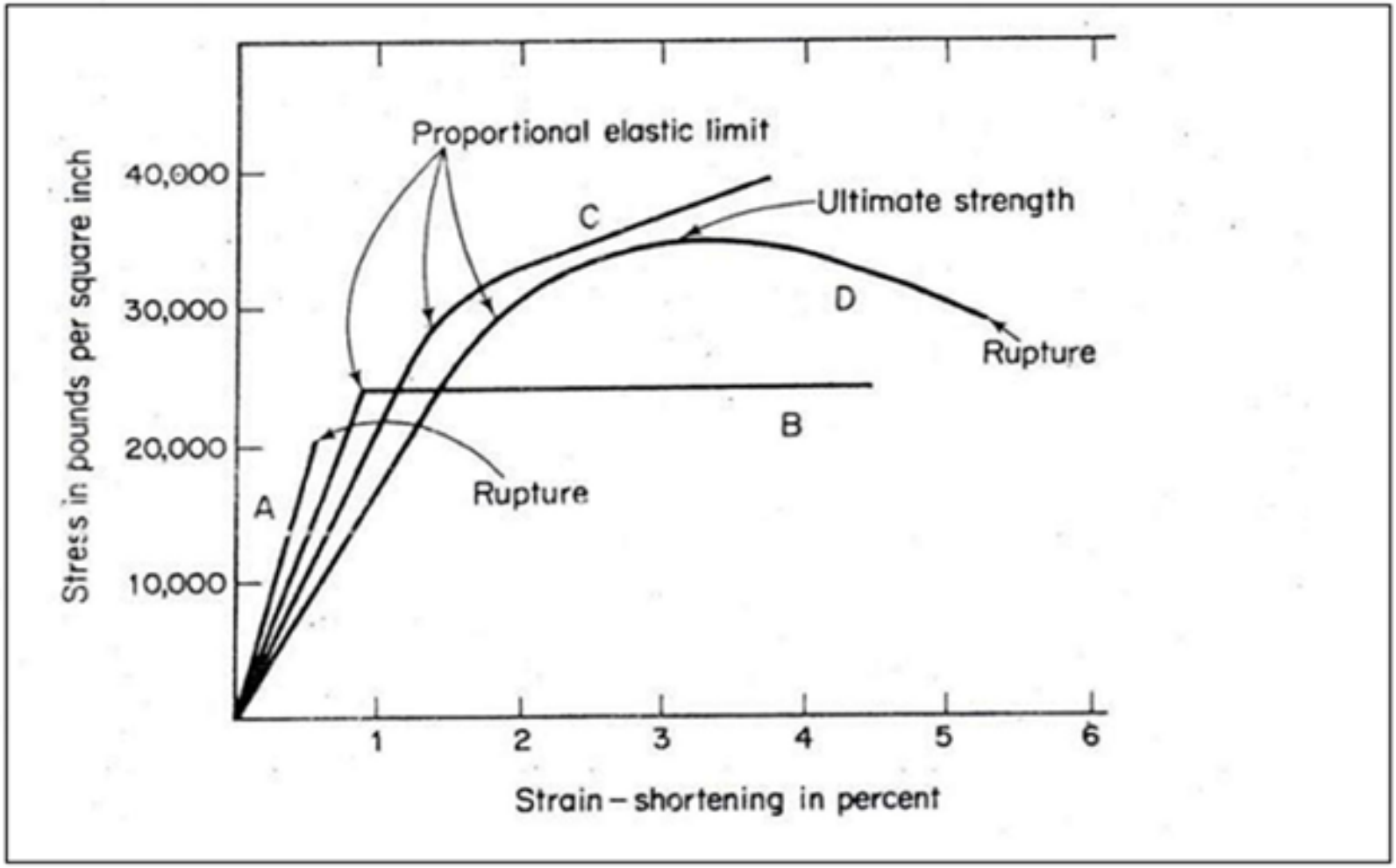
Ductile rocks explain elastic-plastic behavior before rupture





1. Fracture stress
2. Yield stress
3. Stress drop
4. Ductility
5. Elastic constant
6. Coefficient of strain hardening

الشكل يمثل اربعة نماذج تعرضت الى جهد كبس (Compression Stress) مقاس بالباوند/ م ٢ .
المحور الصادي يمثل الاجهاد والمحور السيني يمثل النسبة المئوية لتقلص العينة (Shortening%).



النموذج A يمثل مادة هشة تتشوه بداية باسلوب الصخور المرنة ثم تنهار بالتكسر عند الاجهاد ٢٠٠٠ باوند/م٢.

النموذج B يمثل مادة لدنة مثالية تسلك في البداية سلوك مرن و بعد الوصول الى حد المرونة تسلك سلوك لدن وتتشوه العينة باستمرار دون اي جهد اضافي.

النموذج C يمثل نوع اعتيادي للسلوك اللدن ولكن العينة تتصلب (Hardening) مع زيادة الجهد المسلط بعد حد المرونة اي ان تشويه العينة يصبح تدريجيا اكثر صعوبة.

يمثل المنحني D نوعا شائعا من التشويه اللدن فالعينة تتشوه بصورة مرنة لغاية اجهاد قدره ٢٨٠٠٠ باوند/م ٢ مع تقلص و انكماش في حجم العينة يقل عن ٢ %

فعند البداية يتطلب التشوه الاستمرار بزيادة الجهد ولكن عندما يصبح الانكماش اكثر من ٣% فان استمرارية التشوه تتطلب اجهادا يقل تدريجيا.

والنقطة العليا على المنحني تمثل الحدود العليا لمقاومة العينة (Ultimate strength).

(Effective factors on rocks behavior)
العوامل المؤثرة على سلوك الصخور

هناك عدة عوامل تسهم في تشكيل انماط تشوه الصخور وتشمل هذه العوامل:

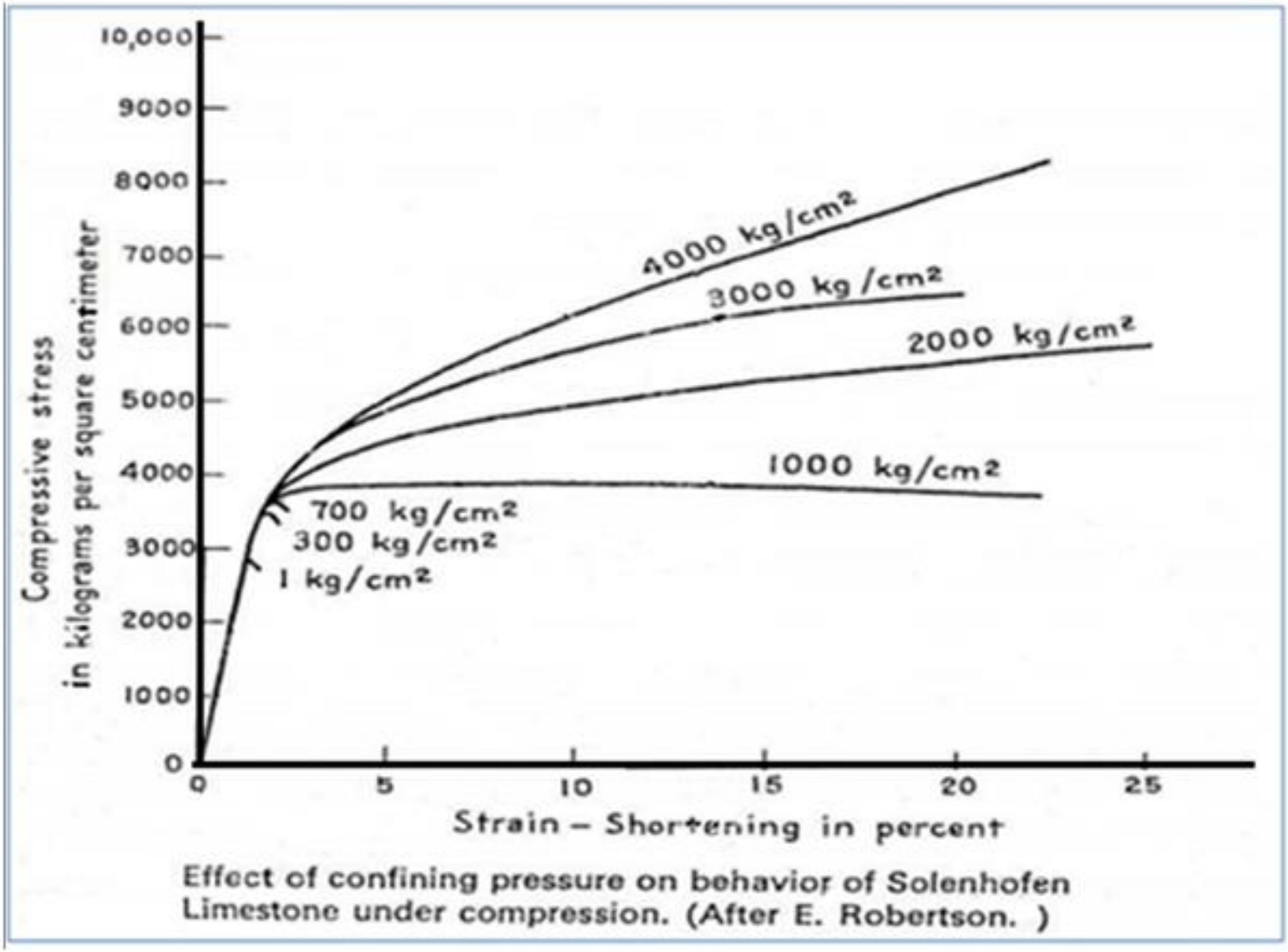
الضغط الحاصر (Confining pressure)
الحرارة (Temperature)
الزمن (Time)
المكونات الصخرية
وجود او فقدان المحاليل (presence of fluids)
نوع الجهد (Type of stress)
معدل الجهد (Rate of stress)
الضغط المسامي (Pore Pressure)

اولا: الضغط الحاصر (Confining pressure)

ان الصخور تحت السطحية تتعرض الى ضغط حاصر بسبب وزن الصخور التي فوقها وبجميع الاتجاهات.
الشكل القادم يوضح سلوك سبع نماذج لنفس النوع من الصخور الجيرية تعرضت الى اجهادات كبس تحت ضغوط حاصرة متباينة.

المحور الصادي يمثل جهد الكبس والمحور السيني يمثل النسبة المئوية لقصر النموذج. جميع هذه النماذج سلكت في البداية سلوك مرن لذلك انطبقت المنحنيات السبع جميعا وبدت كأنها منحني واحد عندما كان الضغط الحاصر١ كغم /سم٢ تكسرت العينة وانهارت بالتفصم قبل الوصول الى التشوه اللدن.

وكذلك حصل الشيء نفسه عندما كان الضغط الحاصر ٣٠٠ و ٧٠٠ كغم/سم٢ ولكن حدث التفصم في اجهادات اعلى مما عليه عندما كان الضغط الحاصر ١ كغم/سم٢ او عند الضغط الحاصر ١٠٠٠ كغم/سم٢ فان الصخر سلك سلوك مرن وبعد حد المرونة بدء يتشوه بصورة لدنة وهكذا للضغوط الحاصرة الاخرى.



Effect of confining pressure on behavior of Solenhofen Limestone under compression. (After E. Robertson.)

تشير هذه التجارب الى ان الصخور التي تبدي تشويها هشا او ضئيل اللدونة بالقرب من سطح الارض ربما تكون لدنة تماما تحت ضغوط حاصرة عالية.

ان زيادة الضغط الحاصر يصاحبه:

١. انفعال الصخور يتحول من السلوك الهش الى السلوك اللدن.
٢. الضغط الحاصر العالي يقاوم اتساع الكسور.
٣. زيادة مقاومة الصخور.

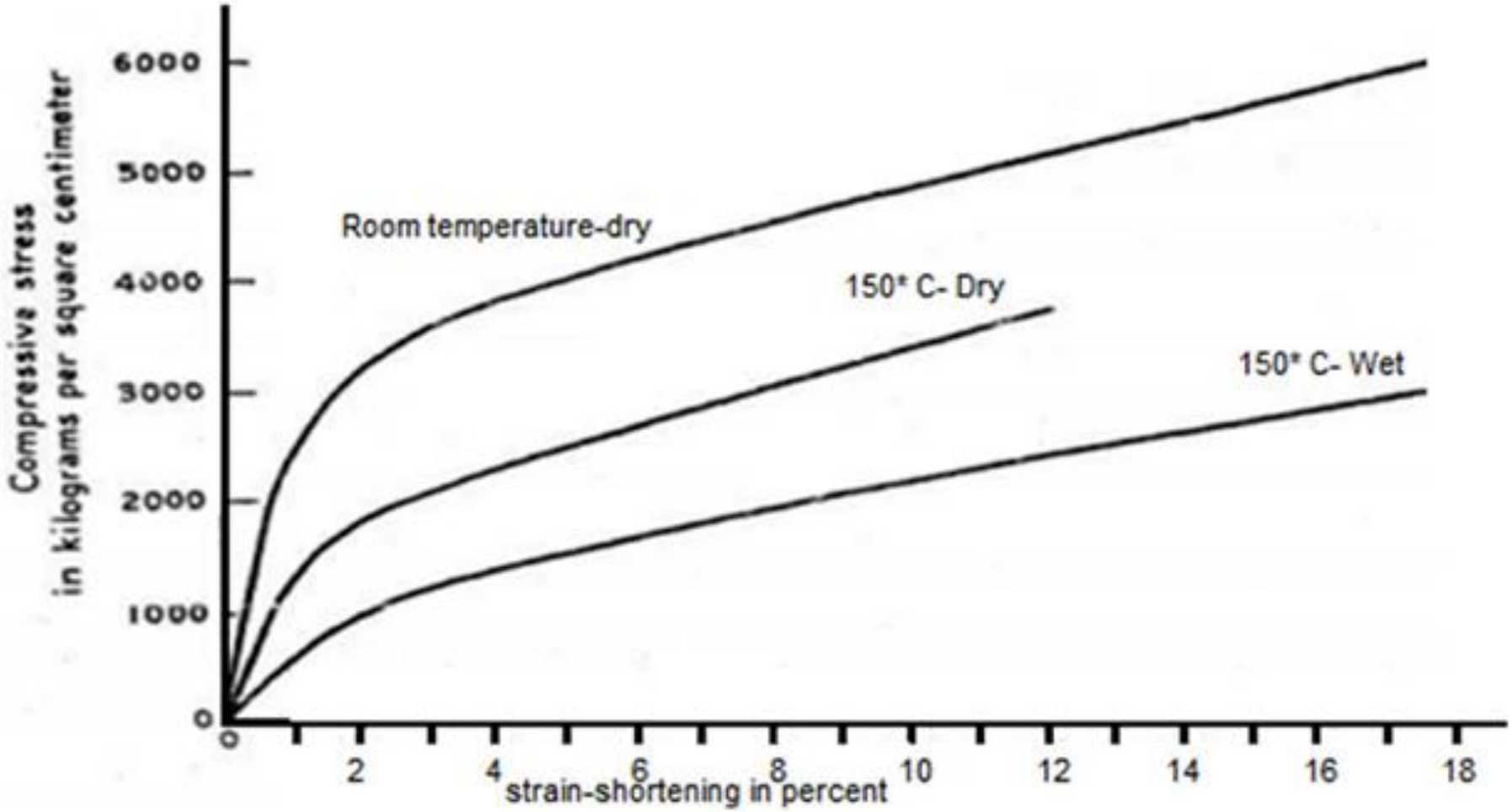
ثانيا:درجة الحرارة (Temperature)

تتغير مقاومة الصخور مع التذبذب في درجات الحرارة.
ومن ملاحظة الشكل فالمحور الصادي يمثل جهد الكبس وعلى المحور السيني النسبة المئوية لانكماش النموذج.

فقد اجريت ثلاث تجارب على نوع من الصخور وبنفس الظروف من الضغط الحاصر و بدرجات حرارية مختلفة.

الشكل يوضح تأثير درجة الحرارة والمحاليل على سلوك الصخور.
فبزيادة درجة الحرارة يتطلب النموذج الى جهد كبس اقل للوصول الى حد المرونة والتحول الى الانفعال اللدن.

ومنه يستنتج بان التشوه اللدن يكون اقل شيوعا قرب سطح الارض وذلك لان الضغط الحاصر ودرجة الحرارة اقل مما هما عليه في الاعماق السحيقة.


Compressive stress
in kilograms per square centimeter
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Room temperature-dry
150° C- Dry
150° C- Wet
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
strain-shortening in percent

ثالثا: الزمن (Time)

ان العمليات الجيولوجية تحتاج الى فترات زمنية طويلة لحدوثها. وان تحليل تأثير الزمن يرتبط بعدد من الموضوعات مثل التغير بالشكل (Creep) ومعدل الانفعال (Strain rate) واللزوجة (Viscosity).

ان الزحف يعني التشوه المستمر و البطيء مع مرور الزمن وقد تكون الاجهادات فوق او تحت حد المرونة.
ففي الشكل العام لمنحني التغير بالشكل ، المتمثل بنسبة الانفعال على المحور الصادي و الزمن على المحور السيني.

- التقاطع (A) على المحور الصادي يمثل الانفعال الاني عند اضافة الثقل.
- - الجزء B من المنحني يمثل تغير الشكل الابتدائي.
- - الجزء الرئيسي C من المنحني يمثل تغير الشكل الثانوي او تغير الشكل المستقر.
- و اخيرا في الجزء D يرتفع المنحني بصورة حادة قبل الانفصام و التمزق مباشرة .

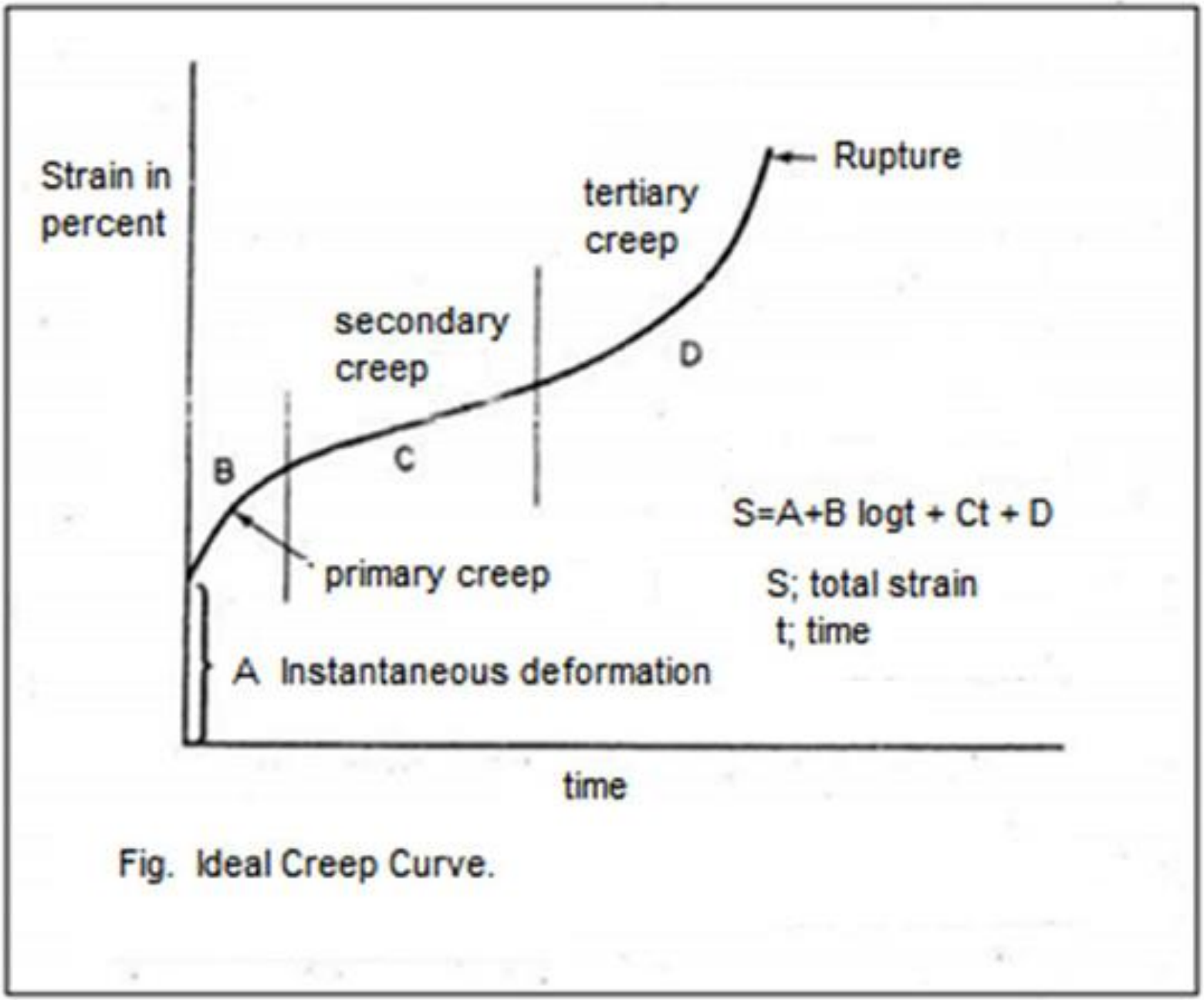


Fig. Ideal Creep Curve.

تسلك الصخور سلوك مشابه للمواد اللزجة عندما تكون هذه الصخور تحت ضغط ودرجة حرارة عالية
فصخور الجزء العلوي من الوشاح تتمتع بقابلية على الانسياب.

ان تغير الشكل creep هو اجمالي تأثير الانفعال المرن والانفعال الدائم وانه تشوه لزج – مرن (Viscous-elastic) اكثر من انه تشوه لزج صرف او تشوه مرن

فالعينة او الكتلة الصخرية تسترجع الجزء المشوه الناجم عن الانفعال المرن
بينما لا تسترجع الجزء المشوه الناتج عن الانفعال الدائم .

رابعا: المحاليل (Fluids)

يظهر تأثير المحاليل على الخواص الميكانيكية للصخور بحالتين:

الاولى هو عندما تستطيع المحاليل الموجودة في الفراغات المسامية للتفاعل كيميائيا مع الصخور.
فالمحاليل تذيب المعادن القديمة وترسب المعادن الجديدة وتحت هذه الظروف تتغير الخواص الميكانيكية للصخور.

اما التأثير الثاني فالمحاليل تزيد من نسبة رطوبة الكتل الصخرية ومع هذه الزيادة تقل اجهادات الوصول الى حد المرونة وتقل مقاومة الصخور ايضا.

خامسا: الضغط المسامي (Pore Pressure)

ان الضغط العالي للمائع في الفراغات المسامية للصخور تعادل جزئيا الضغط الصخري المستقر.
وان مثل هذه الضغوط العالية تظهر في بعض الحقول النفطية.

الضغط المسامي يضعف الصخور اذ من الطبيعي ان تزداد مقاومة الصخور مع العمق بسبب ازدياد الضغط المسلط
لكن مع زيادة الضغط المسامي يقل الضغط الحاصر الفعال، علاوة على ذلك فان زيادة الضغط المسامي يجعل الصخور اقل تماسكا.

ولحساب مقاومة الصخور تؤخذ بنظر الاعتبار الظروف المحيطة اثناء حدوث عملية التشوه وبصورة عامة مقاومة الصخور تقل مع:

١. زيادة الحرارة اذ تنخفض مقاومة الصخور وتزداد اللدانة .
٢. نقصان معدل الانفعال (strain rate) وهي التشويه لكل وحدة زمن. اي ان الصخور تصبح اضعف بكثير بعد فترة طويلة ومستمرة من الاجهادات.
٣. التورق (foliation)
٤. زيادة المسامية
٥. ضغط المحاليل (Fluid Pressure)

حيث ان الضغط الفعال هو

Effective Pressure = PC - PF,

where PC= Confining Pressure and PF= Fluid Pressure.