

الحديد و الفولاذ Iron and steel

١- مقدمة عامة:

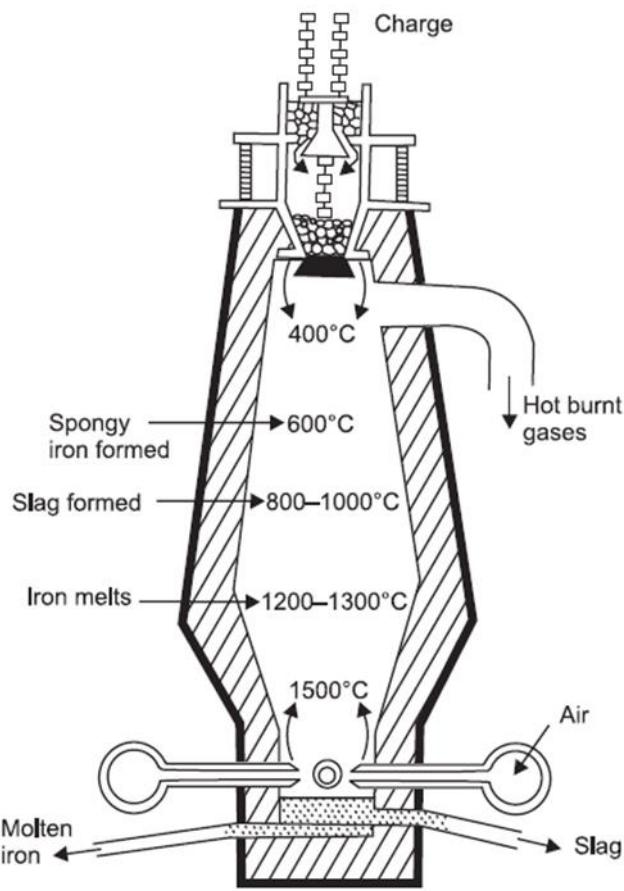
- يعود استخدام الحديد الى حوالي 1500 ق.م حيث استخدمت أفران بدائية لإنتاجه تعتمد على احتراق الفحم الحجري لتسخين الفرز الخام. بقي تصنيع المواد الحديدية يتم بكميات محدودة حتى القرن الثامن عشر حيث طور الفرن العالي.
- انتشر استخدام المنتجات الحديدية بشكل واسع في النصف الثاني من القرن الثامن عشر و القرن التاسع عشر. اما انتاج الفولاذ فقد بدأ في منتصف عام 1800 م عندما تم اختراع محول بسمر (Besmer converter) .
- تطورت صناعة الفولاذ بشكل كبير من النصف الثاني من القرن التاسع عشر مع تطوير الفرن ذو (الاساس) التيار الالكتروني و تطوير طرق الصب المستمر بالإضافة الى ادخال الاتمته في عملية الإنتاج مما ادى الى تقليل التكاليف.
- يستعمل الفولاذ في العديد من المنشآت المدنية مثل الجسور، ناطحات السحاب الصالات الكبيرة و غيرها.

٢- صفات المواد الحديدية:

- تمتاز المواد الحديدية بالعديد من الصفات الجيدة مثل : المقاومة العالية، المتانة الجيدة، اللدونة، الناقلية العالية للحرارة و الكهرباء و قابليتها للحام.
- بالمقابل لهذه المواد بعض الصفات السلبية مثل: التآكل تحت تأثير الغازات المختلفة و الرطوبة و التشهو الكبير تحت تأثير درجات الحرارة العالية.

٣- مراحل صناعة الحديد و الفولاذ:

تم عملية التصنيع وفقاً للمراحل التالية:



١. ارجاع فلزات الحديد وتشكيل حديد الغفل (Pig iron)
٢. تكرير و تنقية حديد الغفل و تصنيع حديد الصلب و الفولاذ.
٣. تصنيع المنتجات المتنوعة من الفولاذ و حديد الصلب.

٣- ١ صناعة حديد الغفل :Pig iron

تم عملية صناعة حديد الغفل عن طريق ارجاع فلزات الحديد الخام (الهيمايت Fe_2O_3 ، المغنتيت Fe_3O_4) بواسطة فحم الكوك ضمن الفرن العالى الذى تصل درجة حرارته الى حوالي 2200°C . يتم استخدام كربونات الكالسيوم الخام كمادة مذيبة (مساعدة على انصهار فلزات الحديد) و مزيلة لبعض الشوائب مثل أكسيد السيليس SiO_2 .

٣- ١-١ مراحل استخراج الحديد:

- طحن فلزات الحديد الخام الى قطع صغيرة (مكعبية، كريات) ابعادها حوالي 50mm و من ثم يتم تسخينها لإزالة الرطوبة منها.
- ادخال المواد الخام (فلزات الحديد، فحم الكوك، كربونات الكالسيوم) من فتحة في أعلى الفرن و من ثم تعرضها لتيار هوائي ساخن جدا قادما من أسفل الفرن مما يؤدي الى اشتعال الكوك و انصهار فلزات الحديد.
- تتم عملية ارجاع الحديد (تخليصه من الأكسجين) بواسطة فحم الكوك

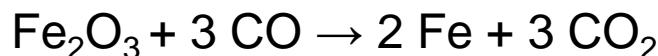
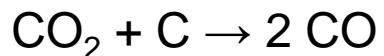
- تقوم كربونات الكالسيوم بالإضافة إلى دورها كمادة مذيبة بتنقية المصفور من أكسيد السيليسي مشكلة خبث الأفران العالية
- يتجمع الحديد المصهور و الحاوي على نسبة عالية نسبيا من الكربون في أسفل الفرن ، ليتم صبها ضمن قوالب خاصة (Pigs) مشكلة ما يُسمى بحديد الغفل.
- يطفو الخبث فوق مصهور الحديد ليتم بعد ذلك تبريده بالماء او الهواء و استخدامه كإضافات اسمنتية (منيرالية) او حصويات خفيفة ضمن الخلطات الخرسانية.

ملاحظة 1 : يجب ان تحتوي فلاتات الحديد الخام على نسبة من الحديد حوالي 65% .

ملاحظة 2 : يحتوي حديد الغفل على نسبة عالية من الكربون تراوح بين 3-5% بالإضافة الى بعض الشوائب الأخرى من مثل (السيليكا، الكبريت المغذّي يوم، الفوسفور) التي تجعل منه مادة هشة قليلة الاستخدام. لذلك يتم اخضاعه لمرحلة ثانية من الانصهار و تنقية الشوائب و تحويله الى حديد الصب و الفولاذ القابلن للاستخدام و انتاج المنتجات الحديدية المتنوعة.

٣-١ التفاعلات الكمية ضمن الفرن العالي:

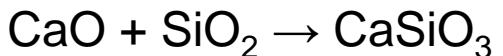
- تصل درجة حرارة في أعلى الفرن الى 230°C وهي غير كافية لبدء عملية الارجاع (الاختزال) لكنها كافية للتخلص من الرطوبة الموجودة في المواد الخام.
- في الجزء الأوسط من الفرن يحترق الكوك احتراقا شديداً بمجرد ملامسته لتيار الهواء الساخن و يوفر الكربون اللازم لعملية الارجاع و يبدأ تشكيل الحديد الاسفنجي عند درجة الحرارة 600°C وفقا للمعادلات التالية:



• عند درجة الحرارة 1000°C ويتشكل الكلس الحي وفقاً للمعادلة التالية:

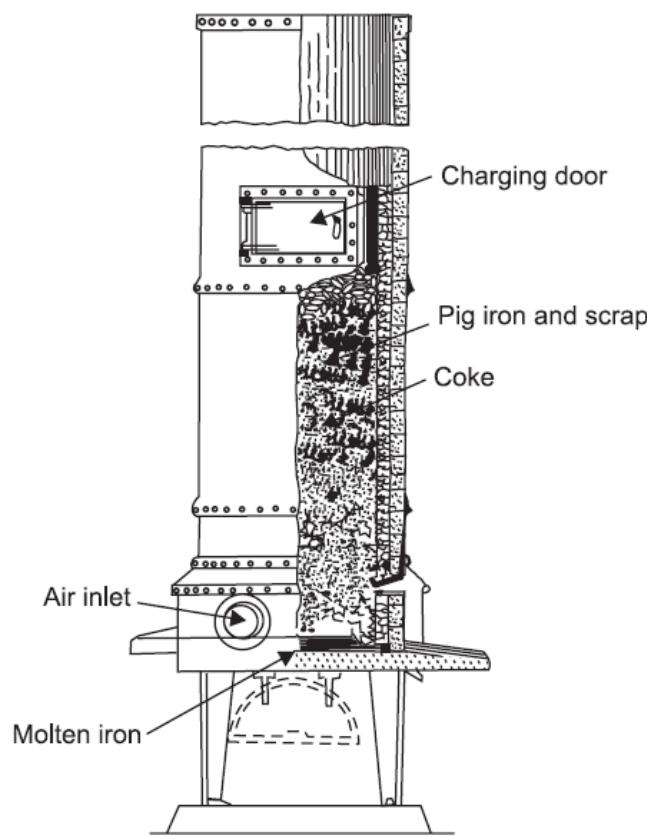


• يتفاعل الكلس الحي مع أكسيد السيليسيوم ليكون خبث الحديد وفقاً للمعادلة التالية:



• في الجزء السفلي من الفرن مع وصول درجة الحرارة إلى 1200°C تنصهر جميع المكونات ماعدا الكوك الذي يتفاعل مع الأكسيد غير المختزلة وينبدأ مصهور الحديد بالتشكل.

• في أسفل الفرن يتجمع الحديد المصهور و التي يتحول عند صبه و تبریده إلى حديد الغفل و يطفو فوقه الخبث كونه ذو كثافة أقل.



٣-١ مواصفات حديد الغفل:

- حديد الغفل : قاسي، هش، درجة انصهاره حوالي 1200°C .
- مقاومته للضغط عالية و مقاومته للشد و القص ضعيفة.
- لا يصدأ و لا يمكن برشمتها او لحامها.

٣-٢ صناعة حديد الصب :Cast iron

يُصنع حديد الصب من خلال إعادة صهر حديد الغفل مع الكوك و كربونات الكالسيوم ضمن فرن الكوبلا (Cupola Furnace) . بعد ذلك يتم صب المصهور ضمن قوالب بأشكال وأحجام مرغوبة. يُعرف الحديد الناتج بحديد الصب ، الحاوي على نسبة كربون بين 2-4% . يتصف حديد الصب بقوافيه و هشاشةه

١ - ٢ - أنواع حديد الصلب:

١ - حديد الصلب الرمادي:

ينتج عن التبريد البطيء للحديد المصهور و المصبوب بالقوالب وفق الأشكال المرغوبة. يكون الكربون ضمن هذا النوع على شكل صفائح منفصلة من الغرافيت تؤثر بشكل كبير على الخواص الميكانيكية لهذا النوع من الحديد.

يحتوي حديد الصلب الرمادي على نسبة من الكربون تتراوح بين 2.7-4% بالإضافة لبعض الشوائب الأخرى من مثل المنغنيز، السيليس و الكبريت والفوسفور وغيرها.

٢ - حديد الصلب الأبيض:

نحصل عليه من التبريد السريع للحديد المصهور حيث يبقى الكربون موزعا ضمن الحديد على شكل سيمنتيت (كربيد الحديد) Fe_3C . يكون لون هذه النوع من الحديد فاتحا بسبب غياب الغرافيت.

نسبة الكربون ضمنه بحدود 2.5% بالإضافة لبعض الشوائب الأخرى من مثل المنغنيز، السيليس و الكبريت والفوسفور وغيرها.



٢ - ٢ استخدامات حديد الصب:

يُستخدم حديد الصب في صناعة أغطية الرياحن، أجزاء من محركات السيارات، الأنابيب، ووصلات الأنابيب، قواعد الخطوط الحديدية وغيرها.

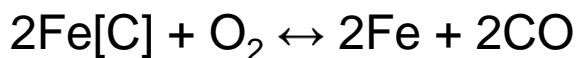
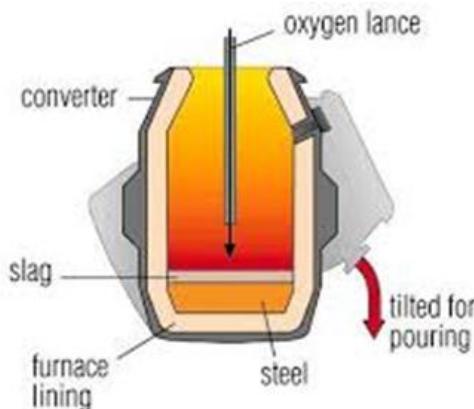


٣ - صناعة الفولاذ :Steel

يعتبر الفولاذ مادة مواد البناء الأكثر ملائمة بين المواد المعدنية بفضل خواصها الفيزيائية و الميكانيكية الجيدة و المتنوعة. يُصنع الفولاذ باستخدام نوعين من الأفران: أفران التيار الأكسجيني، أفران القوس الكهربائي.

١- أفران الأساس (التيار) الأكسجيني (محول أكسجيني):

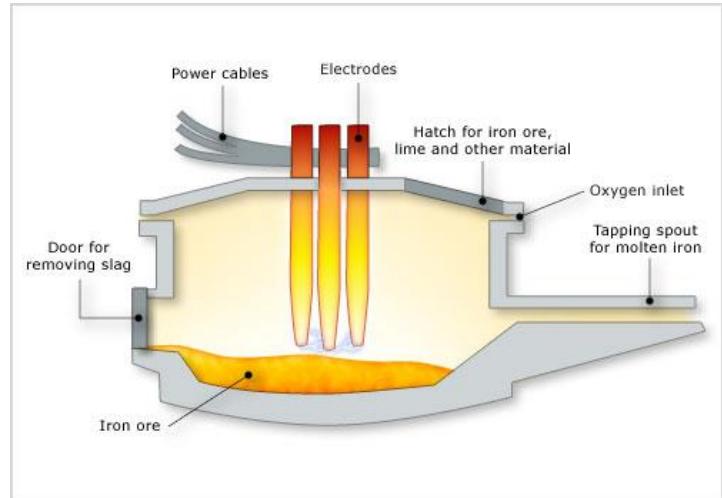
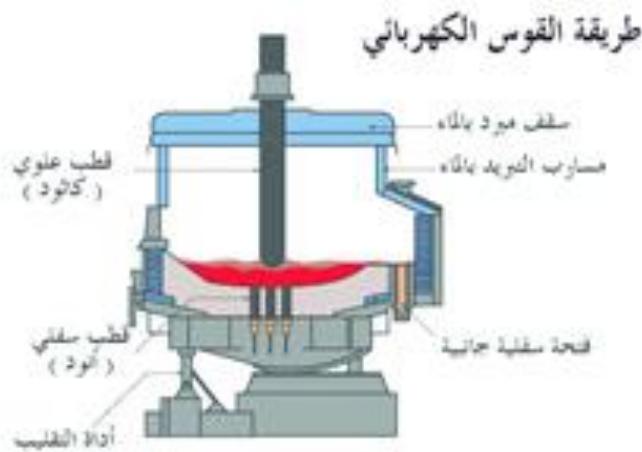
في هذا النوع من الأفران يتم التخلص من نسبة الكربون الزائدة الموجودة في حديد الصب الناتج عن فرن الكوبولا، عن طريق إمداد تيار من الأكسجين ضمن المصهور فيتفاعل الأكسجين مع الكربون ليشكل غاز الكربون كما في المعادلة التالية:



تستمر عملية ضخ تيارات الأكسجين بشكل متتالي حتى التخلص من جميع الشوائب و الوصول إلى نسبة الكربون المناسبة.

٢- فرن القوس الكهربائي

تم عملية الصهر اما باستخدام القوس الكهربائي المباشر الواصل بين الكترود من الفحم و المواد الحديدية الداخلة الى الفرن او باستخدام القوس الكهربائي غير المباشر و في هذه الحالة فان القوس الكهربائي يصل بين الكترودين من الغرافيت او اكثرو من ثم تشع الحرارة الى المواد الحديدية الداخلة للفرن .



ملاحظة: في أثناء انتاج الفولاذ يمكن للأكسجين أن ينحل في المصهور و عند البدء بعملية التصلب يمكن للأكسجين أن يتهدى مع الكربون ليشكل فقاعات من احدى أكسيد الكربون، ثُجّز ضمن الفولاذ و تشكل نقاط الضعف التي يبدأ منها الانهيار.

لتخلص من هذه الفقاعات يتم إضافة بعض المواد مثل الألمنيوم، المنغنيز التي تعمل على منع عملية الأكسدة.

يُسمى الفولاذ الخالي من الأكسيد بالفولاذ المقتول **Killed steel**

٤- تشكيل الفولاذ:

يتم صب الفولاذ المصنوع ذو التركيب المرغوب ضمن مصبوّبات كبيرة (Ingots) ليصار لتحويلها لمنتجات نصف مصنعة لها ثلاثة أشكال أواح (blooms)، كتل (slabs)، نورات (billets). هنا يوجد طريقتين:

١. تشكيل هذه المنتجات على الساخن مباشرة بعد عملية الصب و هذا ما يُعرف بطريقة الصب المستمر . لقد أصبحت هذه الطريقة أساسية في تصنيع منتجات الفولاذ المتنوعة لما توفره من طاقة.
٢. ترك المنتجات تبرد و من إعادة تشكيلها على السخن و هذا يتطلب إعادة تسخينها قبل البدء بتشكيلها.



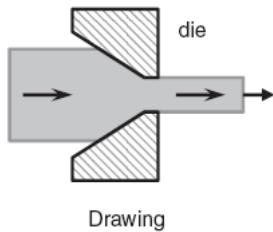
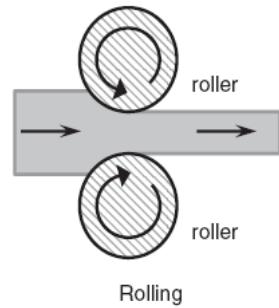
blooms



slabs

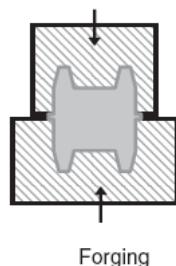
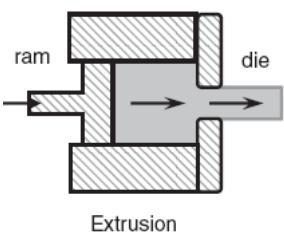


billets



تم عملية تشكيل الفولاذ بأربع طرق:

١. الدرفلة . rolling
٢. الطرق . Forging
٣. البثق . Extrusion
٤. السحب . Drawing



ما يهمنا من هذه الطرق الأربع، طريقة الدرفلة فقط

٥- درفلة الفولاذ :

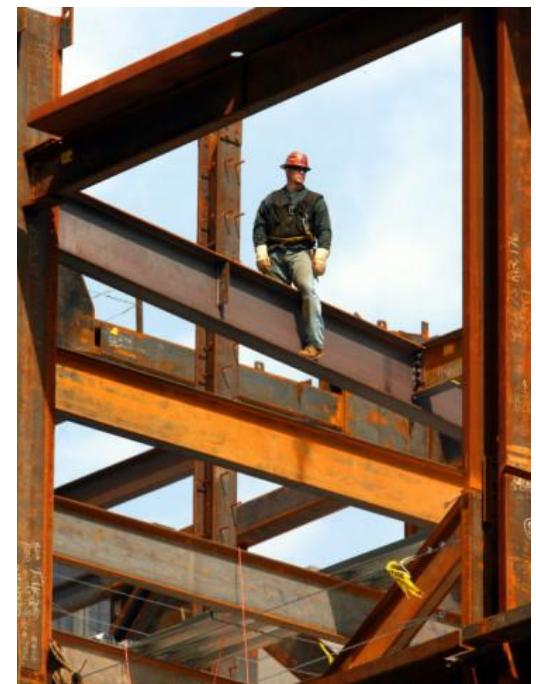
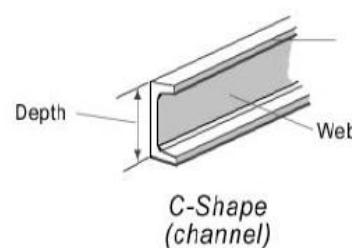
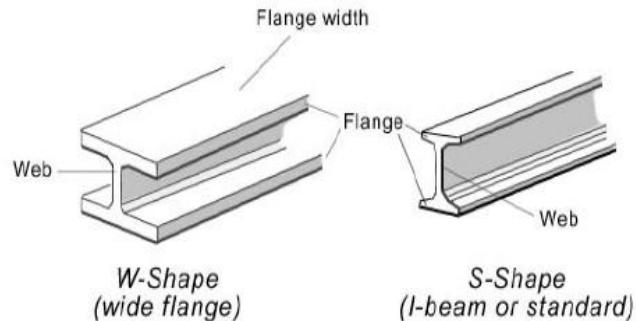
هي احدى طرق تشكيل الفولاذ حيث يتم تقليل سماكته (تسطيحه) و زيادة طوله و عرضه عن طريق تمرير الفولاذ الساخن أو البارد عبر اجسام اسطوانية (رولات) ثقيلة و صلدة تسمى الدرافل.

يوجد نوعين للدرفلة: درفلة عل الساخن و درفلة على البارد.

١- درفلة الفولاذ على الساخن :

تم في درجة حرارة أعلى من 0.6 درجة الانصهار للفولاذ المشكل. تُستخدم هذه الطريقة لتشكيل المقاطع الثقيلة. تتصف العناصر المشكلة بهذه الطريقة بعدم الدقة بالأبعاد وبقاء اجهادات ضمن المعدن بسبب التبريد غير المتجانس الذي تخضع له.

Steel Section Terminology



٥- درفلة الفولاذ على البارد :

تم العملية بدرجة حرارة الغرفة و تتطلب استخدام معدات ثقيلة لتأمين قوى كبيرة تكون كافية للتغلب على مقاومة الخضوع لمادة المشكلة. تستخدم هذه الطريقة لتشكيل العناصر ذات المقاطع الصغيرة و تمتاز بانها تحسن مقاومة الشد و تومن الحصول على ابعاد دقيقة للناصر المشكلة و تومن استوائية جيدة لسطح المنتج.

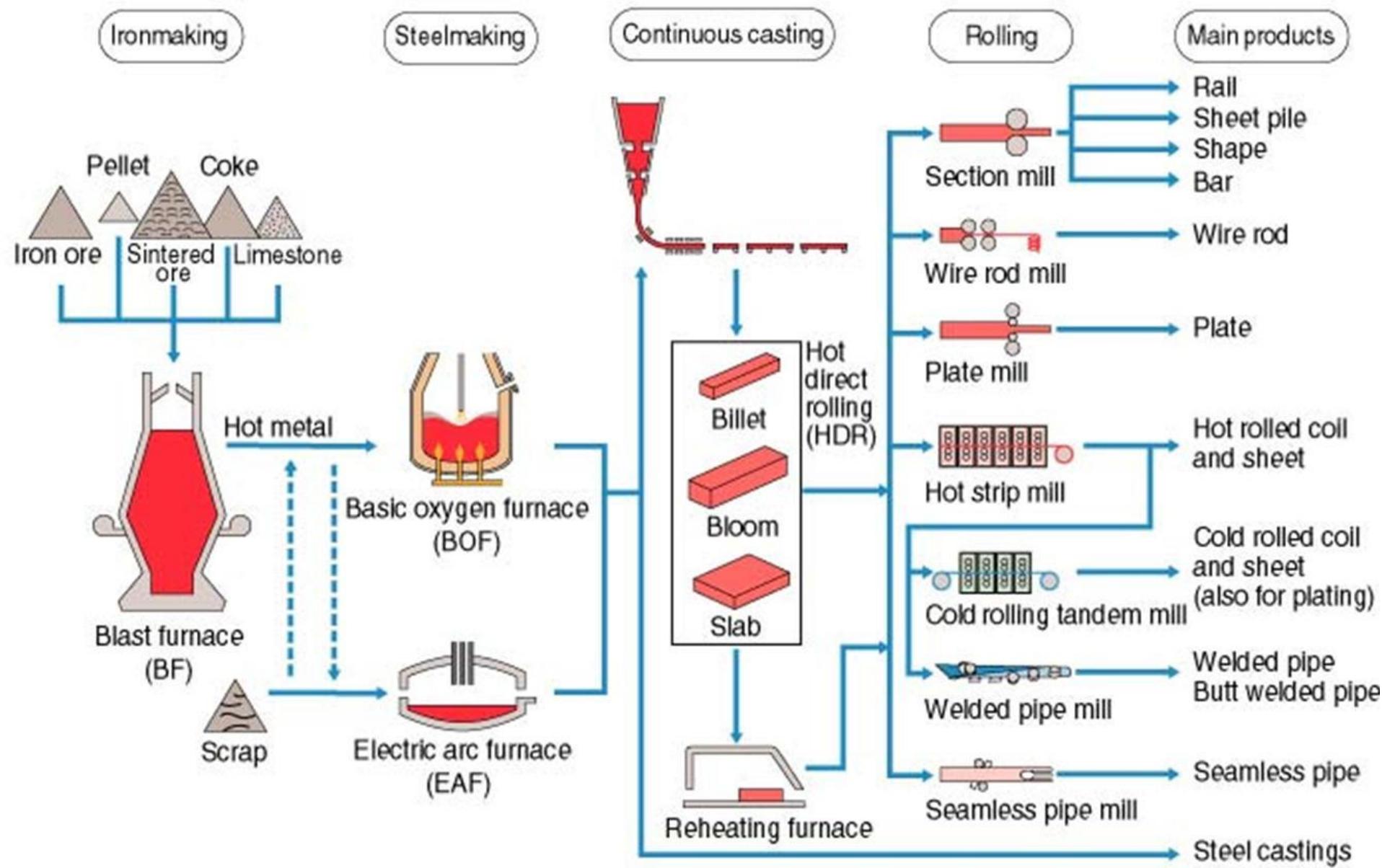


٦- المعالجة الحرارية للفولاذ:

تهدف المعالجة الحرارية الى تغيير خواص الفولاذ مثل: زيادة المثانة، زيادة الصلادة، زيادة المطيلية، إزالة الاجهادات الداخلية الناتجة عن عمليات التشكيل.

يتمثل مبدأ المعالجة الحرارية بتسخين الفولاذ الى درجة حرارة معينة ومن ثم المحافظة على هذه الدرجة لفترة محددة يليها تبريد المادة بنسبة محددة.

تشمل المعالجة الحرارية العمليات التالية: التقسيمة Annealing ، التحمير (التلدين) Hardening ، المعادلة أو الاستعدال Normalizing ، المراجعة (التطبيع) Tempering



٦ - التخمير:

له عدة أنواع ووفقاً لكل نوع يتم تسخين الفولاذ إلى درجة حرارة معينة (أعلى من درجة تشكل الاوستنیت بحوالى 50°C في حالة التخمير الكامل و في بقية الأنواع إلى درجة حرارة بين $(600-700^{\circ}\text{C})$) ومن ثم المحافظة على درجة الحرارة لفترة زمنية كافية لحدوث التحولات المرغوبة في بنية الفولاذ ثم عملية تبريد مضبوطة للوصول إلى درجة حرارة الغرفة

تهدف هذه المعالجة إلى إزالة الاجهادات الداخلية و إعادة التبلور و نمو حجم الحبيبات و زيادة مطيلية الفولاذ و مثانته

٦ - ٢ المعادلة:

تشبه هذه العملية عملية التخمير الكلي مع اختلاف بدرجة الحرارة و طريقة التبريد، فدرجة الحرارة أعلى بحدود 60°C من درجة الحرارة الحرجة العليا (خط الاوستينييت)، أما التبريد فيتم بالهواء الساكن ضمن الغرفة (أسرع من حالة التخمير الكامل) و هذا يجعل المقاطع المختلفة السماكة أقل تجانساً.

يتم الحصول على مقاومة شد و صلادة أعلى مع خواص تشغيلية أفضل من تلك التي يتم الحصول عليها من التخمير الكلي.

٦ - ٣ التقسيمة (السقاية):

يتم في هذه العملية تسخين الفولاذ إلى درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا ومن ثم المحافظة على هذه الدرجة لفترة معينة يلي ذلك عملية تبريد سريع للفولاذ من خلال وضعه أو رشه بالماء او بالماء الحاوي ملح او بالزيت او بالهواء المضغوط وفقاً للسرعة المطلوبة.

يكون سطح الفولاذ المقسى بهذه الطريقة أكثر قساوة و هشاشة من داخله نتيجة تبريد بسرعة أكبر من الداخل.

تؤدي عملية التبريد السريع إلى وضع الفولاذ بحالة تشوه قد ينتج عنها تشققات او انكسار في الزوايا الحادة مع انتهاء عملية التقسيمة، لذلك يجب اتباع هذه المرحلة بمرحلة المراجعة بهدف تحسين مواصفات الفولاذ المقسى (متانة قليلة)

تهدف هذه العملية الى زيادة متانة الفولاذ المقسى و أيضا زيادة مطيليته من خلال أعاد تسخينه بعد تبريد الى الدرجة 350°C-200 و تركه في درجة الحرارة العالية لمدة ساعتين و من ثم تبريد بالهواء الساكن.

٧- تصنيف الفولاذ حسب التركيب الكيميائي:

يُصنف الفولاذ الى صنفين: الفولاذ الكربوني، الخلائط الفولاذية.

بشكل عام تكون نسبة الكربون في الفولاذ أقل من 2%

١- الفولاذ الكربوني . Carbon steel

يُصنف الى:

١. فولاذ منخفض الكربون Low carbon و تكون فيه نسبة الكربون أقل 0.15%

٢. فولاذ عادي الكربون Mild carbon ، تكون فيه نسبة الكربون تتراوح بين 0.15-0.29%

٣. فولاذ متوسط الكربون Medium carbon تكون فيه نسبة الكربون تتراوح بين 0.3-0.59%.

٤. فولاذ عالي الكربون High carbon تكون فيه نسبة الكربون تتراوح بين 0.6-1.7% .

٧- الخلائط الفولاذية .Steel alloys

تصنع هذه الخلائط بإضافة مواد الى الفولاذ لهدف تحسين بعض الخواص مثل : المقاومة، المطيلية، مقاومة التآكل وغيرها. من المواد المضافة يمكن أن نذكر : الألمنيوم، النيكل، النحاس، المنغنيز و غيرها. ضمن الخلائط يمكن ان يتواجد الكربون بنسب مختلفة.

تصنف الخلائط الى: منخفضة Low alloy و عالي High alloy

٨- الفولاذ الانشائي:

١. يشمل المقاطع الثقيلة المتنوعة مثل : الأعمدة، الجسور، الزوايا ، التي يتم درفتها على الساخن. يتم تصنيع هذه العناصر بأشكالها المتعددة من الفولاذ الكربوني أو الخلائط المنخفضة، يوجد لكل منها مواصفات خاصة بها تحدد حد سيولتها، مقاومتها، استطالتها، تركيبها الكيميائي.
٢. فولاذ التسليح العادي و الفولاذ الخاص (المسبق الاجهاد) الذي يتم استخدامه في الخرسانة لتعويض النقص في مقاومتها للشد. يوجد عدة أشكال لفولاذ التسليح العادي، اما ان تكون قضبان ذات نتوءات (محزنة او متقطعة) او قضبان ملساء او شبكات ملحومة ذات نتوءات او ملساء.

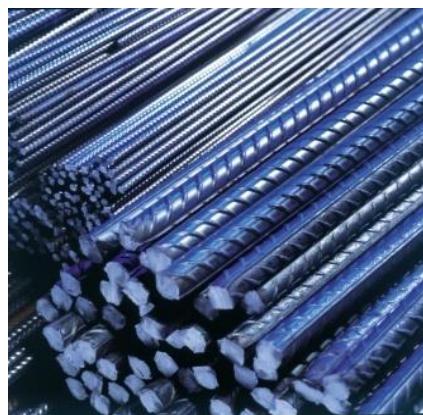
يُصنع فولاذ التسليح العادي من خلال الدرفلة على الساخن للنورات غالبا (الا انه في بعض الاحيان يمكن استخدام الخلائط في عملية التصنيع) للحصول على القضبان بالأقطار المرغوبة. بعد ذلك و لأجل زيادة المقاومة و التخلص من العيوب للقضبان يمكن ان تتم من احدى العمليات التالية:

- إضافة مواد محسنة للمقاومة (مثل Vanadium)
- تبريد سريع و مراجعة
- درفلة على البارد.
- سحب على البارد

وفقا للمواصفة ASTM يوجد اربعة مواصفات لفولاذ التسليح العادي وفقا لنوع الفولاذ المستخدم في التصنيع هي: A615, A616, A617, A706 . تميز هذه المواصفات بين ثلاثة درجات (رتب) للفولاذ مرتبطة بحد مرونته. هذه الدرجات هي : Grade40, 60,75

الخواص الميكانيكية للفولاذ الأكثر استخداماً وفقاً للكود العربي السوري للخرسانة

النسبة المئوية الدنيا للاستطالة عند الانقطاع	الحد الأدنى لإجهاد الخضوع أو إجهاد الضمان MPa	الحد الأدنى لمقاومة الشد (الانقطاع) MPa	نوع الفولاذ (الصلب) والرمز	الأسياخ أو القسبان
*20	240	370	فولاذ طري ϕ	مساء
*16	300	440	فولاذ طري متوسط المقاومة H	ذات نتوءات (ذات أضلاع)
*12	400	500	فولاذ طري عالي المقاومة T	عالية المقاومة ذات نتوءات
*10	400	500	فولاذ قاس معالج على البارد Y	عالية المقاومة ذات نتوءات



ملاحظة ١ : اقطار القسبان المعتمدة في الكود العربي السوري للخرسانة هي : 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 40 mm

ملاحظة ٢ : عند استعمال قضيب ذات نتوءات، يؤخذ القطر النظري للدائرة التي تعطي الوزن الذاتي للمتر الطولي اذا كانت النتوءات مستمرة، و اذا كانت النتوءات متقطعة يؤخذ أصغر مقطع للقضيب.



٣. فولاذ الخرسانة المسبقة الاجهاد: تتطلب الخرسانة المسبقة الاجهاد استخدام أسلاك، جداول، كابلات، قضبان خاصة من الفولاذ الذي يجب ان يكون عالي المقاومة و ذو نسبة استرخاء منخفضة. يُصنع الفولاذ من خلائط عالية المحتوى من الكربون و عالية المقاومة.

الاسترخاء: يُعرف بأنه نسبة النقص في الاجهاد عند تطبيق نسبة ثابتة من التشوّه (الانفعال) لفترة زمنية طويلة.

تُحدد المواصفة **ASTM A416** مواصفات فولاذ الخرسانة المسبقة الاجهاد و تميز بين رتبتين **Grade 250, 270**.

٩- اختبارات الفولاذ:

٩- ١ اختبار الشد:

الغاية من التجربة:

يهدف هذا الاختبار الى تحديد مواصفات الفولاذ الميكانيكية من مثل : حد المرونة (اجهاد الخضوع) ، مقاومة الشد، النطاول النسبي، مقدار انخفاض مساحة المقاطع المختبرة و غيرها.

مبدأ التجربة:

اخضاع عينة نموذجية من الفولاذ الى حمولة شد محورية متزايدة بانتظام من الصفر وحتى الانقطاع.

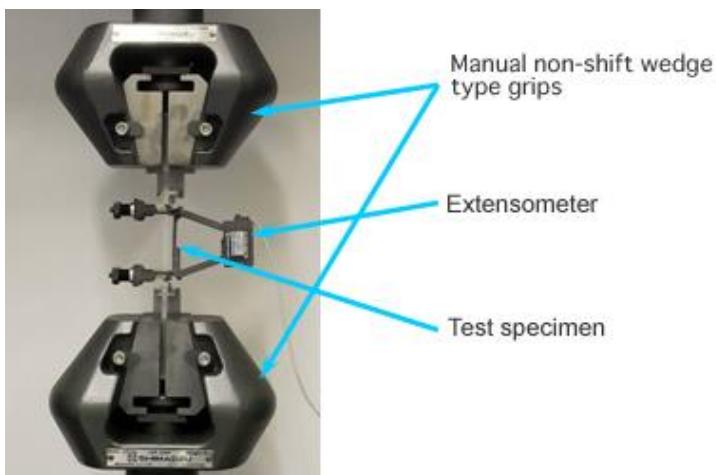


Fig. 2 Test Specimen and Extensometer

الأجهزة:



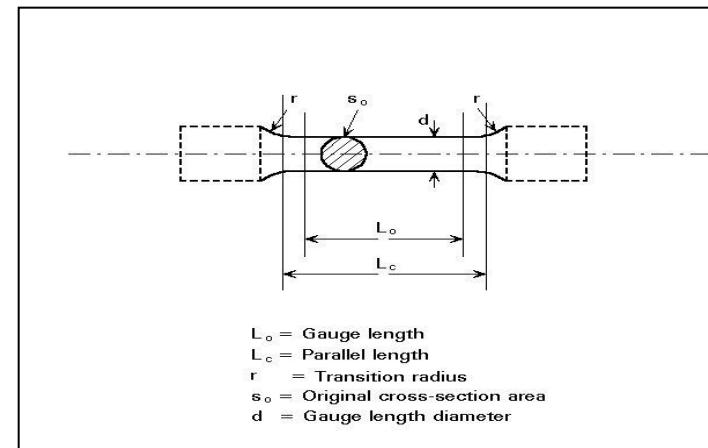
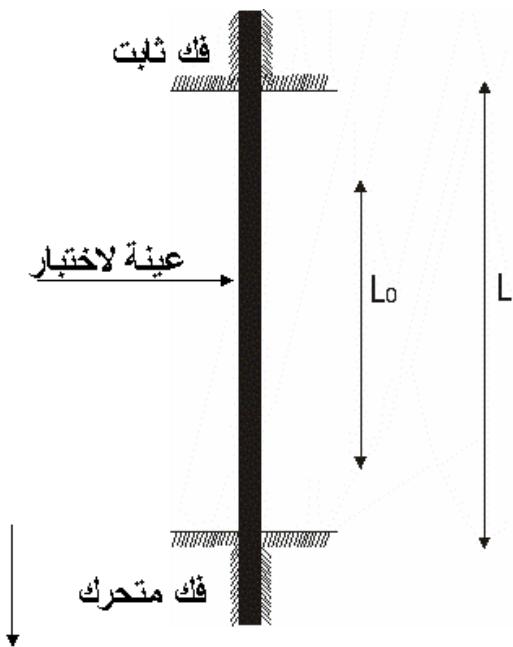
١. آلة شد لها القدرة على تطبيق حمولة شد محورية بنسبة محددة مزودة بلوحة الكترونية، كما يمكن وصلها لشاشة كومبيوتر حيث يمكن رسم مخطط القوة التطاول و مخطط الاجهاد التشوه.

٢. فكين لثبت العينة احدهما ثابت والآخر متحرك يعملان على نقل حملة الشد من آلة الشد إلى العينة.

٣. جهاز قياس التشوّهات يثبت على العينة المختبرة

٤. جهاز قياس ابعاد العينة (البياكونيس).

٥. جهاز قياس الاستطالة (Extensometer)



L_0 = Gauge length
 L_c = Parallel length
 r = Transition radius
 s_o = Original cross-section area
 d = Gauge length diameter

عينات الاختبار:

عينات الاختبار:

١. يجرى الاختبار على قضبان ذات مقاطع ذات دائيرية أو مربعة او على صفائح ذات سماكات متنوعة.
٢. يجب ان تكون العينة المختبرة ممثلة بشكل جيد للفولاذ المراد اختباره.
٣. يجل ان تكون ابعاد العينة معتمدة في المواصفات العالمية.
٤. لكي يحدث الانقطاع في وسط العينة، يكون مقطعها في القسم الأوسط أصغر من مقطعها في الاطراف
٥. نحدد على العينة طول القياس (L_0) (الطول المرجعي المستخدم في حساب التطاول النسبي للعينة) و مرتبط بقطر العينة او مساحة مقطعها S_0 .

طول القياس يعادل خمس اضعاف القطر الاسمي للعينة او $5.65\sqrt{S_0}$

٦. نحدد طول القياس على العينة بشكل موازي لمحور العينة الطولي .

مراحل الاختبار :

١. تحديد طول القياس على طول العينة المختبرة عن طريق رسم خطأً موازيًّاً للمحور الطولي للعينة مساوياًً لطول العينة بالحبر أو الخدش أو الدهان.
٢. تثبيت العينة بين فكي الجهاز.
٣. تثبيت مقياس التشوه على العينة
٤. البدء بتطبيق الحمولة المتزايدة بانتظام من الضفر حتى الانقطاع وفقاً لنسبة محددة حسب المواصفة المعتمدة
٥. وفقاً للمواصفة الامريكية ASTM E8 فانه يتم تسجيل الحمولة و التشوهية عند كل تغير بالحمولة يعادل $2.2kN$

تحليل نتائج الاختبار :

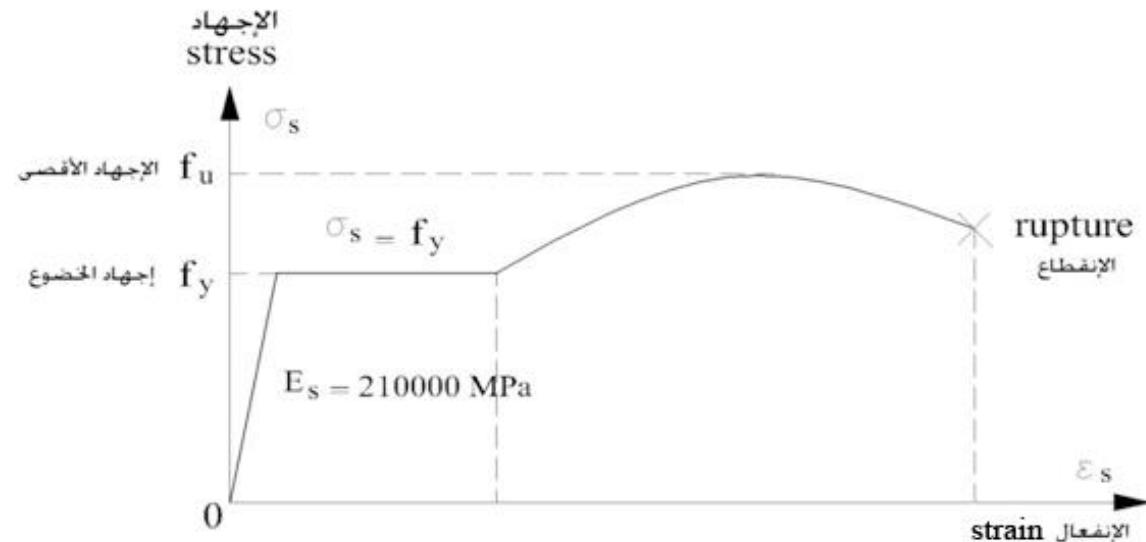
١- مخطط الاجهاد - التشوه النسبي (الانفعال):

١. حسب و نرسم مخطط الاجهاد - التشوه المتواافق لكل تغير بالحمولة بمقدار $2.2kN$. الاجهاد يُحسب من خلال تقسيم الحمولة على مساحة مقطع العينة المختبرة، اما التشوه النسبي فنحصل عليه من خلال تقسيم التغير في الطول على الطول الأصلي (طول القياس للعينة) .

ملاحظة: في الوقت الحالي يمكن الحصول على مخطط الاجهاد- التشوه النسبي ($\sigma-\epsilon$) مباشرة على شاشة الحاسوب مباشرة اثناء التجربة.

٢. نميز على مخطط الاجهاد- التشوه النسبي للفولاذ المطاوع و الحاوي على نسبة قبلة من الكربون أقل من 0.25% ، المراحل التالية :

٣. مرحلة المرونة الخطية (linear elastic region) : تكون فيها العلاقة بين الاجهاد و التشوه النسبي علاقة خطية تناسبية بشكل طردي . تؤدي إزالة الحمولة في أي نقطة الى ازالة التشوهات المسجلة و عودة العينة الى وضعها الاصلي



٤. تنتهي هذه المرحلة بنقطة (A) تسمى حد المرونة التناصبي (الحقيقي) (**proportional limit**). بعد هذه النقطة تصبح العلاقة غير خطية. من الصعب تحديد هذه النقطة على المخطط.

٥. على المخطط ، يمكن ان نميز النقطة (B) التي تسمى حد المرونة الظاهري أو حد السيلان أو اجهاد الخضوع (**Yield stress**) ، حيث تنتقل بعدها المادة الى مرحلة الدونة (**plastic region**)

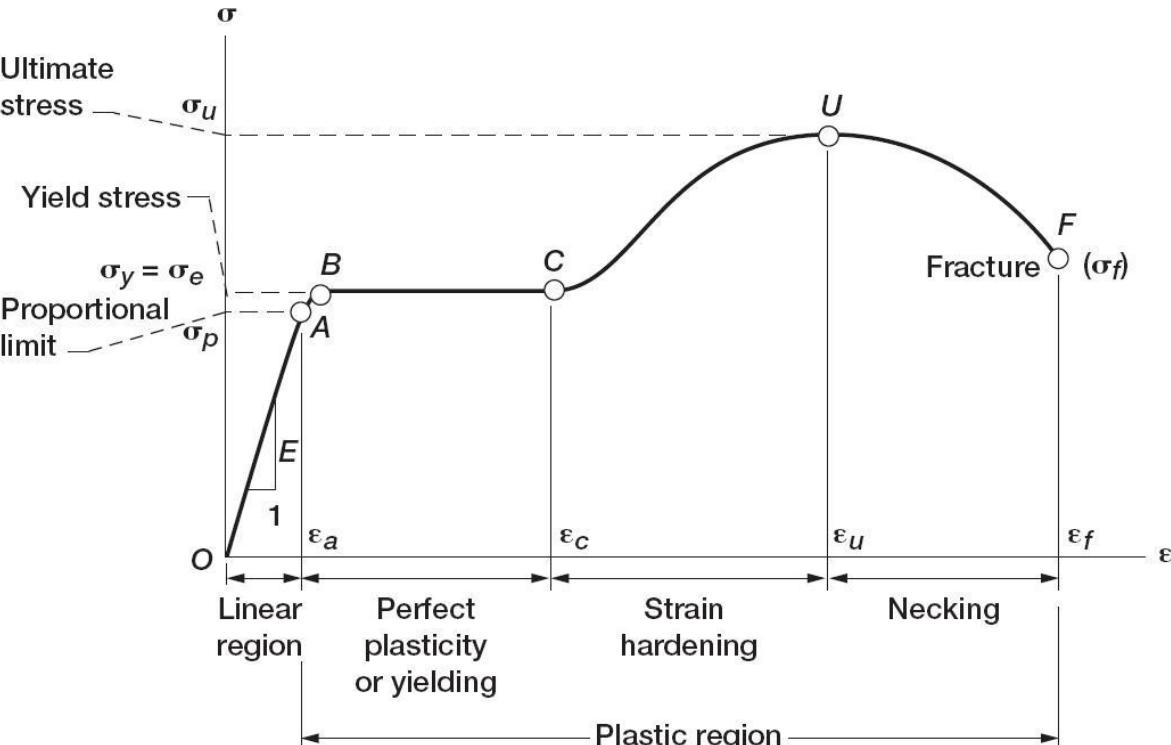
٦. تتصف مرحلة المرونة ببقاء جزء من التشوّهات بعد إزالة الحمولة تسمى التشوّهات اللينة (**plastic region**)

٧. نميز ضمن مرحلة الدونة ثلاثة أجزاء:

- لدونة تامة (**perfect plasticity**) تتميز هذه المرحلة بزيادة التشوّهات المسجلة دون زيادة في قيمة الاجهادات وهو ما يُعرف بـ سيلان العينة.

- مرحلة تصلب التشوّه (**strain hardening**) : تتميز هذه المرحلة بإعادة انتظام و توضع جديد للبلورات وهذا يسبب ازدياد مقاومة العينة حتى الوصول الى النقطة (U) التي الاجهاد الحدي (**the ultimate stress**) (الأعظمي).

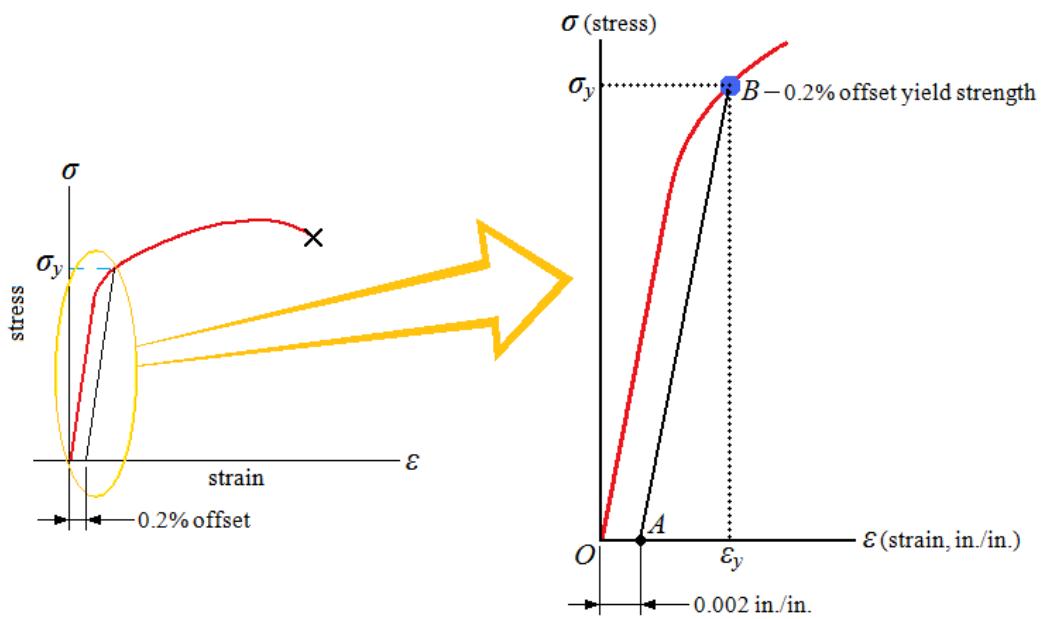
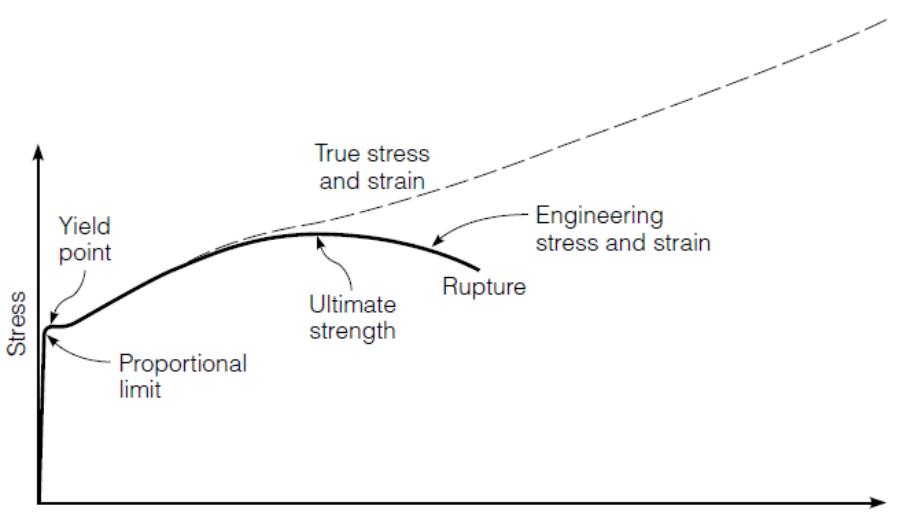
- مرحلة التضيق (**necking**): تتميز هذه المرحلة بتسارع التشوّهات المسجلة و تضيق مقطع العينة و من ثم انقطاعها في النقطة (F) التي تمثل حد الانقطاع (**Fracture stress**).



ملاحظات على مخطط الاجهاد- التشوه النسبي:

١. لقد افترضنا في حساب الاجهادات ان مقطع العينة الأصلي (A0) يبقى ثابتا ، ولكنه في الحقيقة يتضيق تدريجياً مع تزايد القوة المطبقة و بالتالي فات الاجهادات الفعلية المطبقة على المقطع تكون اكبر من الاجهادات المحسوبة. كما ان التشوه الفعلي اكبر من التشوه المحسوب لان التزايد في الطول في المنطقة المجاورة للتضيق اكبر من التزايد في الطول في المنطقة بعيدة عن منطقة التطاؤل. و بالتالي يمكن ان نميز بين مخططي اجهاد- تشوه نسبي: الأول: مخطط الاجهاد- التشوه النشبي الهندسي (Engineering stress-stain) و الثاني مخطط الاجهاد- التشوه النسبي الفعلي (True stress-strain).

٢. عندما تزداد نسبة الكربون في الفولاذ تزداد مقاومته و يقل التشوه النسبي (يصبح قصيفاً) ، يكون من الصعب تحديد اجهاد الخضوع من المخطط (أي التمييز بين مرحلة المرونة و مرحلة الدونة) فنحدد ما يُسمى اجهاد الضمان (حد المرونة الاتفاقية) و الذي يُعرف بأنه الاجهاد الذي يترك تشوههاً نسبياً (انفعالاً) متبقياً مقداره 0.2%



حسابات تجربة الشد :

اجهاد الخضوع:

يتم تحديده من المخطط او باستخدام الطريقة الاصطلاحية.

مقاومة الشد:

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A_0} \quad \text{حسب من العلاقة :}$$

حيث:

σ : مقاومة الشد . Mpa

P_{max} : القوة العظمى التي تحملها العينة أثناء التجربة N .

A_0 : مساحة مقطع العينة الأصلي mm^2 .

الاستطالة:

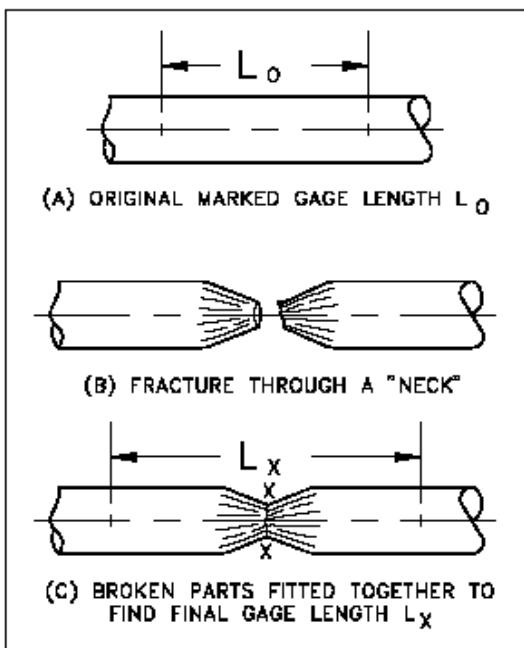
حسب من العلاقة :

حيث:

$\epsilon\%$: التشوه النسبي.

L_s : طول القياس بعد الانقطاع . mm

L_0 : طول القياس الأصلي . mm



ملاحظة: يُحدد طول القياس بعد الانقطاع بإعادة جزئي العينة الى وضعيهما قبل الانقطاع و الضغط عليهما و من ثم قياس الطول.

معامل المرونة (معامل يونغ):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

يُحسب من علاقـة هـوك :

حيث:

E : معامل المرونة . MPa

σ : اجهاد المرونة النظري (حد المرونة النسبي) MPa.

ϵ : التشوه النسبي (الانفعال) الموافق لحد المرونة النسبي.

اجهاد الانقطاع (الانكسار)

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A_0}$$

تحسب من العلاقة :

حيث:

σ : مقاومة الشد . Mpa

P_f : قوة الانكسار . N

A_0 : مساحة مقطع العينة الأصلي . mm²

نسبة تضييق المقطع:

تحسب من العلاقة :

$$\% \text{ نسبة التضييق} = \frac{A_0 - A_s}{A_0} * 100$$

حيث:

A_s : مساحة المقطع بعد الانقطاع mm^2 و يحسب بقياس القطر او البعد الوسطي للمقطع الأصغر للعينة المنكسرة.

A_0 : مساحة المقطع الأصلي mm^2 .

تطبيق:

قضيب من الفولاذ طوله 100mm و مقطعه مستطيل بعده (40x10)mm ، خضع لقوة شد مقدارها 89kN فأدت الى حدوث استطالة في القضيب مقدارها 0.1mm . بفرض ان هذه الاستطالة مرنة بشكل كامل، و كثافة الفولاذ تعادل 7.85g/cm^3 . احسب معامل مرونة الفولاذ وزن المتر الطولي.

ملاحظة: يُحسب وزن المتر الطولي من العلاقة التالية :

$$\text{Mass per unit length(kg)} = 7.85 * 10^{-3} * A_n$$

حيث:

A_n : مساحة المقطع القضيب mm^2 .

الحل:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{89*10^3}{40*10} = 222.5 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0.1}{100} = 0.001$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{222.5}{0.001} = 222500 \text{ MPa} = 222.5 \text{ GPa}$$

$$7.85 * 10^{-3} * 10 * 40 = 3.14 \text{ kg}$$

وزن المتر الطولي

١- المواصفة القياسية السورية الخاصة بالفولاذ المستعمل في تسلیح الخرسانة:

تغطي المواصفة القياسية السورية رقم 1642 لعام 2013 المتطلبات الفنية الخاصة بالفولاذ المستعمل في تسلیح الخرسانة، وتقسم الى قسمين الأول خاص بالقضبان الملساء و الثاني خاص بالقضبان المضلعة .

١-١- المواصفة القياسية السورية الخاصة بالقضبان الملساء:

يميز هذا الجزء ثلاثة أصناف من قضبان التسلیح غير القابلة للحام، B240D-P, B300D-P, B420D-P وصنف واحد من قضبان التسلیح قابلة للحام B420DWP .

معاني الرموز:

B : رمز القضبان الفولاذية الخاصة بتسليح الخرسانة.

Mpa, 420, 300, 240 : الحد الأدنى لاجهاد الخضوع

D : لصنف المرونة.

W : قابل للحام.

- : غير قابل للحام.

P : قضبان ملساء.

خصائص الشد

خصائص المرونة (المطاوعة)		القيمة المميزة للاستطالة %	القيمة المميزة R_m/R_{eH}	المقاومة المميزة لإجهاد الانقطاع في الشد R_m نيوتن/مم	القيم المميزة لإجهاد الخضوع الأعلى R_{eH} نيوتن/مم		درجة الفولاذ	صنف المرونة
حد أدنى A_{gt}	حد أدنى A_5				حد أدنى	حد أقصى		
8	22	1.25	520	-	240	B240D-P	D	
	19							
	16		-	600	-	300	B300D-P	
					540	420	B420D-P	
							B420D-P	

التعليم:

يجب ان توسم كل فسبان التسلیح بعلامات قابلة للتمیز خلال عملیة الدلفنة بالبيانات التالية: اسم الصانع، صنف الفولاذ، القطر الاعظمي.

يجب ان تحوي كل حزمة من القسبان على بطاقة بيان (الصاق) مثبت عليها: اسم الصانع، رقم المواصفة 1-1642 ، صنف الفولاذ، القطر الاسمي، رقم المصبوبة، بلد الصنع.

٢-١٠ المواصفة القياسية السورية الخاصة بالقضبان المضلعة:

يميز هذا الجزء صنفان من قضبان التسليح قابلة للحام، **B400DWR, B300DWR**

معاني الرموز:

B : رمز القضبان الفولاذية الخاصة بتسليح الخرسانة.

300, 400 Mpa : الحد الأدنى لـإجهاد الخضوع

D : لصنف المرونة.

W : قابل للحام.

R : قضبان مضلعة.

خصائص الشد

خصائص المرونة (المطاوعة)			القيم المميزة لـ إجهاد الخضوع الأعلى R_{eH} نيوتن/مم ²			صنف المرونة
القيم المميزة للاستطالة %	القيم المميزة R_m/R_{eH}		درجة الفولاذ			
حد أدنى A_{gt}	حد أدنى A_5	حد أدنى	حد أقصى	حد أدنى	B300DWR	D
8	17	1.25	1.3x $R_{eH}(min)$	300		
			460	400	B300DWR	

تعليم القسبان: يجب ان توسم كل فضبان التسليح صنف B400DWR بعلامات قابلة للتمييز خلال عملية الدلفنة و يُعتبر أي قضيب غير موسوم بالبيانات التالية من الصنف B300DWR: اسم الصانع، صنف الفولاذ، القطر الاعظمي.

تعليم الحزم: يجب ان تحوي كل حزمة من القسبان على بطاقة بيان (الصاقه) مثبت عليها: اسم الصانع، رقم المواصفة 1642-2 ، صنف الفولاذ، القطر الاسمي، رقم المصوبه، بلد الصنع.

يمكن تمييز الأقطار الاسمية لقضبان التسليح بتلوين نهاياتها بالألوان التالية:

- اللون الأصفر للأقطار : 50, 36, 25, 16, 8 مم.
- اللون الأزرق للأقطار: 38, 28, 18, 10 مم.
- اللون الأحمر للأقطار: 40, 30, 20, 12 مم.
- اللون الأخضر للأقطار : 45, 32, 22, 14 مم.