المطلوب لامتحان الفصل الدراسي الثاني وصيف 2019-2020

مقرر: المعادن ومعالجاتها الحرارية

السنة: الأولى

قسم الهندسة الصناعية

العام الدراسي 2019-202

طلابنا الأعزاء:

نُبيّن لكم فيما يلي ما هو مطلوب للامتحان اعتماداً على كتاب المعادن ومعالجاتها الحرارية الموجود لديكم ووفقاً لفصوله:

الفصل الأول: المطلوب منه كامل الفصل باستثناء الصفحتين ص (44, 45).

الفصل الثاني: المطلوب منه كامل الفصل باستثناء الفقرة الأخيرة (3. مخطط توازن الخليطة وكيفية إنشائه).

الفصل الثالث: المطلوب منه فقط:

1- المجهر الضوئي ص68-69-70
2- مفهوم الاختبارات الاتلافية واللاإتلافية ص73
3- مع تعداد فقط (وبدون شرح أو رسم) لأنواع الاختبارات اللاإتلافية.

الفصل الرابع: المطلوب منه فقط:

1- الصفحتين ص 79-80
2- منحني إجهاد إنفعال ص84
3- الشكل الخاص بمنحنيات الإجهاد لمواد مختلفة ص87
4- تعداد فقط للقيم المستنتجة من اختبار الشّد (مع الرموز) ص87-88
5- تعريف فقط الخصائص الميكانيكية الآتية:
   - التعب ص100
   - الحرارة النوعية ص101
   - التمدد الحراري مع القانون $\Delta L = \alpha.L.\Delta T$ ص102
   - التّآكل ص104

فيما يخصّ القساوة يُطلب التّركيز على الصّفحة الآتية (المكتوبة باللون الأزرق) التي تختصر خاصّيّة القساوة المذكورة في الكتاب من ص89 حتى ص99

القساوة Hardness

وهي مقاومة سطح المعدن لتغلغل جسم آخر فيه و تُعبّر عن مقاومة المعدن للخدش أو الاهتراء

واحداتها الأساسية (HRA – HRB - HRC) - HV - HB

I) القساوة وفق برينل: HB (العالِم برينل)

مبدأ القياس يعتمد مبدأ المقاومة (القوة المطبقة على السطح). على أساس انغماس كرة من الفولاذ المُقسّى قطرها معلوم (D) بَعد تحميلها بقوّة معلومة (F) . فبعد التحميل تنغمس الكرة الفولاذية في سطح القطعة المُختبرة وتَترك

فيها تقعّراً لقطّاع كروي عمقه (h) وقطره (d) والرقم الدّال على القساوة هو النسبة بين القوة المطبقة وسطح هذا التقعّر HB = F/A وبالتالي فالواحدة يمكن أن تقدَّر أيضاً بـ $Kg\ f/mm^2$ والتي تُكافئ HB

II) القساوة وفق فيكرز: HV (شركة فيكرز)

تتفق طريقة فيكرز مع برينل من حيث المبدأ مع فارق أساسي هو استبدال الكرة الفولاذية

بهرم رباعي من الألماس بزاوية رأس (136^o) وذلك لضمان تقارب وتطابق قيم HV مع HB

III) القساوة وفق روكويل: HR (العالِم روكويل)

الأجهزة المستعملة لقياس القساوة وفق روكويل تشبه من حيث الشكل وطريقة العمل أجهزة برينل وفيكرز , لكن مبدأ القياس مختلف تماماً عنهما فهو أبسط وأسرع ويعتمد على حساب عمق الانغماس (لكرة أو مخروط)

انطلاقاً من التناسب العكسي بين عمق الانغماس والقساوة. في جهاز روكويل يمكن قياس ما يلي

- للمعادن الطرية (ألمنيوم – نحاس – فولاذ منخفض الكربون ...)
يكون الرأس الضاغط كرة فولاذيّة مقسّاة قطرها D=1/16 [inch] = 1.59 [mm]
وبحمل كلّي مقداره 100 [KP] (10 [KP] حمل أوّلي لضمان التلامس و 90 [KP] حمل نهائي)
و على الجهاز يُستخدم القرص المُدرّج حتى 130 تدريجة باللون الأحمر.
وتكون الواحدة **HRB**
- للمعادن القاسية (حديد صب - فولاذ مُقسّى – فولاذ سبائكي ...)
يكون الرأس الضاغط مخروط ألماسي بزاوية رأس 120^o
وبحمل كلّي مقداره 150 [KP] (10 [KP] حمل أوّلي لضمان التلامس و 140 [KP] حمل نهائي)
و على الجهاز يُستخدم القرص المُدرّج حتى 100 تدريجة باللون الأسود.
وتكون الواحدة **HRC**
- للمعادن فائقة القساوة (المواد السيراميكيّة أو الخزفيّة) أو للعيّنات الرقيقة
يكون الرأس الضاغط هو المخروط الألماسي وبحمل كلّي مقداره 60
وتكون الواحدة **HRA**

الفصل الخامس: المطلوب منه:

- كاملا من بداية الفصل ص107 حتى ص119 مع التركيز على مخطط التوازن والتعاريف.
- لابدّ من الاطلاع على (قراءة فقط للفهم) التّحوّل المارتنسيتي الموجود في الصّفحة ص 135 حتى نهاية الفصل ص140

مع التنويه إلى ضرورة حفظ التعاريف الآتية:

الهيكل الشبكي:

هو أصغر شكل هندسي منتظم لتجمّع الذّرات كوحدة أولية في بناء البلورة المعدنية المُتَشَكّلة من اتحاد ملايين الهياكل الشبكية.

الفريت:

وهو محلول الفحم في حديد α والمحتوي نسبة قليلة من الفحم (الكربون) لا تتعدّى *0.006 %* في الدرجة العادية من الحرارة وهو أطرى النسج البلورية لخلائط الحديد والفحم (هيكله الشبكي مكعب متمركز حجميّاً) .

البرليت:

وهو نسيج بلوري (يوتكتوئيد) من الفريت والسمنتيت يتشكل عند درجة حرارة $723\ C^o$ بالتبريد البطيء .

السمنتيت:

وهو النسيج البلوري لكربيد الحديد $Fe3C$ تبلغ نسبة الفحم فيه $6.67\ \%$

يتكون في مختلف مراحل التبريد (أولي - ثانوي ثالثي) وهو أقسى أنواع النسج البلورية لخلائط الحديد والكربون.

الأوستنيت:

وهو محلول الفحم في حديد γ (هيكله الشبكي مكعب متمركز وجهيّاً). وأعلى نسبة فحم يمكن إذابتها فيه هي $2.06\ \%$ ولا يوجد بالدرجة العادية من الحرارة عند التبريد البطيء حيث يتحول إلى برليت عند $723\ C^o$.

الليديبوريت:

وهو يوتكتيك المخطط الحرج المكوّن من طورين الأوستنيت والسمنتيت (الأوستنيت فيه على شكل حبيبات دقيقة محاطة بالسمنتيت) يحتوي $4.3\ \%\ C$

المارتنسيت:

وهي أقسى بنية من بنى الفولاذ تتشكّل بتسخين الفولاذ حتى مجال الأوستنيت ثم بتبريده بسرعة تفوق سرعة التبريد الحرجة بحيث تعيق التحولات الانتشاريّة للفولاذ وتكون البنية الناتجة إبرية عالية القساوة.

سرعة التبريد الحرجة V_{Cr} :

وهي السرعة التي إذا تم التبريد فيها أو أعلى منها لايحدث تحوّل برليتي ولا يتم انفصال للسمنتيت الذي يتشكل بانتشار الكربون من هياكل الأوستنيت ليتحد مع ذرات الحديد مشكّلا المركّب Fe_3C وتكون البنية النهائية هي المارتنسيت عالي القساوة.

التحول اليوتكتوئيدي:

وهو التحوّل من طور صلب (الأوستنيت γ) إلى طورين صلبين هما الفرّيت (α) والسمنتيت (Cm)

وذلك عند درجة حرارة ثابتة ($723\ C^o$) وفق المعادلة الآتية:

$$\gamma_{(S)} \xrightarrow{723\ C^0} \alpha_{(P)} + Cm_{(K)}$$

الفصل السادس: المطلوب منه المُلخّص الآتي للفصل.

المعالجات الحرارية

هي مجموعة العمليات والإجراءات التي تقوم على أساس تطبيق جملةً من البرامج الحرارية وتنفيذها من خلال التحكم بالمتغيّرات التالية: درجة الحرارة, معدّلات (سُرع) التسخين والتبريد, زمن الإبقاء, نوع فرن المعالجة, نوع وسط التغطيس

الغاية من المعالجات الحرارية

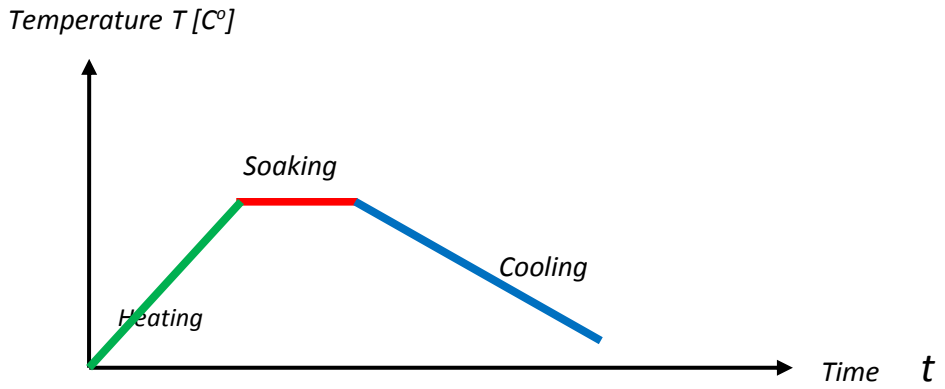
تحسين الخصائص الميكانيكية للفولاذ المُعالَج بما يناسب الخصائص المطلوبة لأداء أمثل وفقاً لشروط الخدمة

أهم الخصائص الميكانيكيّة

متانة الشدّ *(Tensile Strengthe)* – إجهاد الخضوع *(Yield Stress)* – الاستطالة النسبيّة *(Elongation)*
القساوة *(Hardness)* – متانة الصدم *(Shock Toughness)* - مقاومة التعب *(Fatigue Strengthe)*
مقاومة الزحف *(creepStrengthe)* ....

المراحل الرئيسية للبرنامج الحراري

التسخين *(Heating)*
الإبقاء في درجة الحرارة المطلوبة *(Soaking)*
التبريد وفق معدّل التبريد المطلوب *(Cooling)*



الأنواع الاساسية للمعالجات الحرارية

التلدين *(Annealing)*
التقسية *(Hardening)*
الإرجاع *(Tempering)*

A. التخمير أو التلدين *(Annealing)*

التخمير لتخفيض الإجهادات *(Stress Relieving)*

الهدف

التخلص من الإجهادات الداخلية الناتجة عن عمليات التشغيل الخشنة وحتى الناعمة

البرنامج الحراري مطلوب الرسم من الكتاب ص152

التسخين ببطء إلى أدنى من (*AC1*) بقليل *(500 – 650 C°)*

الإبقاء في هذه الدرجة فترة من الزمن تتعلق بسماكة القطعة

التبريد داخل الفرن حتى (*200 C°*) ثم التبريد بالهواء حتى درجة حرارة الغرفة

تخمير التكوُّر أو التطرية *Spherodizing Annealing (Softening)*

الهدف

تحويل شرائح السمنتيت وكربيدات العناصر السبائكية إلى كريَّات (وشرائح أنعم) دون تغيير في البنية

و يُطبَّق هذا النوع من المعالجة على:

الفولاذ المُبرَّد بالهواء ابتداءاً من منطقة(γ), حيث تكون البنية الناتجة سوربيت (نوع من أنواع البرليت لكنه أقسى وأنعم منه)

وهي بنية قاسية لايمكن تشغيلها قبل إجراء تخمير التطرية

الفولاذ عالي الكربون والفولاذ السبائكي حتى يمكن تشغيله

البرنامج الحراري مطلوب الرسم من الكتاب ص153

التسخين إلى أدنى من (*AC1*) بقليل *(600 – 700 C°)*

الإبقاء في هذه الدرجة فترة من الزمن تتعلق بسماكة القطعة

التبريد بالهواء الساكن حتى درجة حرارة الغرفة

التخمير التام *(Full Annealing)*

الهدف

تصغير حجم الحبيبات

الحصول على بنية متَّزنة ومتجانسة وذات خواص جيدة

تحسين قابلية التشغيل

إزالة الإجهادات الداخلية

البرنامج الحراري مطلوب الرسم من الكتاب ص154

التسخين إلى الدرجة (*AC3 +(20÷40) C°*)

الإبقاء في هذه الدرجة فترة كافية لتتحول كامل البنية البلورية إلى *(γ)*

التبريد بالفرن حتى (*400 C°*) ثم التبريد بالهواء

يُطبَّق التخمير التام للفولاذ الهيبريوتكتويدي لأن عملية تحول السمنتيت الثانوي إلى أوستنيت تتطلب تسخيناً فوق الخط (*Ac3*)

مما يسبب تضخُّم الحبيبات, وهذا بدوره يُضعف الخواص الميكانيكية للمعدن

التنسيق *(Normalizing)*

الهدف

الحصول على بنية متوازنة خالية من الإجهادات

الحصول على بنية أنعم من الناتجة عن التخمير التام (البرليت الشرائحي) وذلك لأن التبريد أسرع نسبياً وبالتالي ليس هناك وقت كافٍ لنمو الشرائح

البرنامج الحراري مطلوب الرسم من الكتاب ص157

التسخين إلى ($Ac3 +(20\div40)\ C^o$)
الإبقاء في هذه الدرجة فترة كافية لتتحول كامل البنية البلورية إلى (γ)
التبريد في الهواء الساكن وليس المتحرك (لتفادي حدوث التشققات)

B.التقسية (Hardening)

الهدف

رفع قيم كلٍ من القساوة والمتانة وحدّ الخضوع (ولكن هذه الزيادات تكون على حساب نقصان اللدونة), وذلك من خلال تحويل البنية الأوستنيتية (المحصول عليها بالتسخين حتى مجال تحول الأوستنيت) للفولاذ إلى البنية المارتنسيتية القاسية (من خلال عملية التغطيس بسرعة تفوق السرعة الحرجة V_{Cr})

البرنامج الحراري لتقسية الفولاذ الهيبو يوتكتوئيدي والهيبر يوتكتوئيدي ص159

التسخين إلى $(AC3+(20\text{-}50)\ C^o)$ للفولاذ الهيبو يوتكتوئيدي
والتسخين بين $Ac1$ و Acm للفولاذ الهيبر يوتكتوئيدي (لأن السمنتيت أقسى من المارتنسيت)
الإبقاء في درجة حرارة الأستنة فترة زمنية تتعلق بأبعاد القطعة.($1min$لكل $1mm$ من أكبر بعد)
التبريد (التغطيس $Quinchinge$) بسرعة تفوق السرعة الحرجة V_{Cr}
وتكون البنية الناتجة (مارتنسيت + أوستنيت متبقي) في الفولاذ الهيبو يوتكتوئيدي
(مارتنسيت + أوستنيت متبقي + سمنتيت ثانوي) في الفولاذ الهيبر يوتكتوئيدي
ويتم التغطيس بالماء للفولاذ الكربوني منخفض الكربون, وبالزيت للفولاذ السبائكي وللفولاذ عالي الكربون

C. الإرجاع (Tempering)

عندما يقسَّى الفولاذ فإنه يكتسب بنية مارتنسيتية وكمية محددة من الأوستنيت المتبقي . ويكون الفولاذ قاسياً في هذه الشروط وعالي الإجهاد . وللتغلب على سلبية التقسية, يتوجب تعديل بنية الفولاذ إلى بنية أكثر ثباتاً واستقراراً, ولكن هذه البنية الثابتة والمتوازنة لايمكن تحقيقها بدرجة حرارة الغرفة بسبب التنقل المنخفض للذرات (إنخفاض معامل الإنتشار) . وبارتفاع درجة الحرارة تزداد حركة الذرات نتيجة ارتفاع معدل الإنتشار وهذا يعطي تغيراً بنيوياً في الفولاذ المقسى ليعطي زيادة في حالة الثبات. و تسمَّى هذه العملية في الواقع عملية إرجاع . وبالإرجاع تزداد اللدونة (*ductility*) في حين تّنقص كل من : القساوة (*Hardness*) والمتانة (*strength*). وإنّ جوهر عملية الإرجاع هو الحصول على دمج لكل من (*ductility*, *strength*) . بالتالي فإن عملية الإرجاع بعد التقسية تجعل الفولاذ أكثر نفعاً وذلك بتحقيق البنية الثابتة المستقرّة..

ولكل نوع من أنواع الفولاذ مخطط إرجاع خاص. يُحدِّد قيمة درجة حرارة الإرجاع المناسبة للحصول على قيمة القساوة النهائية المطلوبة

أهم أسباب التشققات الناتجة عن المعالجة الحرارية

1. لاختيار غير الصحيح للفولاذ

2. التأخر الزمني بين التغطيس والإرجاع

كقاعدة , يجب سحب الأجزاء من وسط التغطيس وهي دافئة *(60-90 C^o)* ونقلها فوراً إلى فرن الإرجاع . وإذا استحال لأي سبب إرجاع الأجزاء حالاً بعد التغطيس فيجب إبقاء القطع في الفرن وبدرجة حرارة نحو *(100 C^o)* حتى يتم تنفيذ الإرجاع

3. التسخين المفرط

تسبب تقسية الأجزاء بدرجة حرارة مرتفعة التسخين المفرط للفولاذ , ويمكن أن يحدث هذا أيضاً نتيجة الاختيار الخاطئ لدرجة الحرارة أو بفشل المزدوجة الحرارية (الثيرموكبل) عندما تعطي قراءات خاطئة لدرجة الحرارة. ويسبب التسخين المفرط للفولاذ نمو الحبيبات وتشكل المارتنسيت الخشن وكميات زائدة من الأوستنيت المتبقي ومجموعها تسبب هشاشية في البنية

4. الاختيار غير الصحيح لوسط التغطيس

من أهم الإعتبارات في المعالجات الحرارية , هي الإختيار الصحيح والمناسب لوسط التبريد . والمعايير الأساسية في تحديد نوع وسط التبريد هي:التركيب الكيميائي للفولاذ ونوع البنية المراد الحصول عليها والشكل الهندسي التصميمي للقطعة. ولكون البرنامج الحراري يفرض معدّل تبريد محدد , فإن هذا المعدّل (السرعة) يتم تحقيقها من خلال تحديد نوع وسط التبريد المناسب

أنواع المغاطس المستعملة في عملية التّقسية

- **الماء**

ويتميز بعدم قابليته للاشتعال, أما عيوب التغطيس بالماء فهي : سرعة التبريد العالية والمسؤولة عن تشققات التغطيس , والانخفاض الشديد لقابلية التقسية بارتفاع درجة الحرارة وعندما تصل درجة حرارة الماء إلى قرابة درجة الغليان *(90 C^o)* , سيتشكّل غشاء من بخاره حول القطعة وبالنتيجة ستنخفض سرعة التبريد. ويمكن جعل الماء فعّالاً ومنتظماً بإضافة *(8-12 %Wt)* من ملح الطعام , أو ماءات الصوديوم بنسبة *(30-50 %Wt)* , ولزيادة فعالية التبريد يجري تحريك القطعة في وسط التبريد ويستخدم التغطيس بالماء للفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون

- **الزيت المعدني**

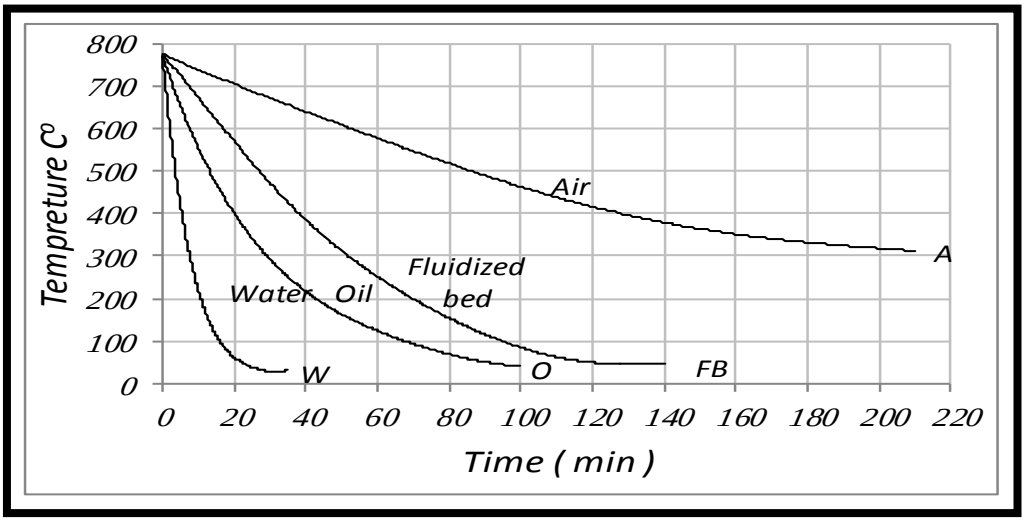
يجب أن يتمتع بدرجة اشتعال عالية (لتجنب احتراقه), ولزوجة منخفضة. ويستخدم الزيت كوسط تبريد مناسب للفولاذ الكربوني عالي الكربون, والفولاذ السبائكي وبعض أنواع فولاذ العدّة. في حين الفولاذ الكربوني والفولاذ المنخفض الخلائطية لا يسقَّيا بالزيت لأن سرعة تبريد الزيت لهما غير كافية , ومن عيوب التغطيس بالزيت : قابليته للإشتعال عموماً عند *(200-300 C^o)* و سمّية أبخرته وغلاء ثمن

- **أحواض المعادن المصهورة**

كالقصدير أو الرصاص أو غير ذلك, وتتميز بأن تجانس التبريد فيها يكون في مجال درجات حرارة – *(200 – 600 C^o)* , وهذه الأوساط تناسب الفولاذ السبائكي ومعظم أنواع فولاذ العدّة بشكل عام.

- **الهواء المضغوط**

ويستعمل لتبريد فولاذ العدد والفولاذ السبائكي (*HSS*)



الفصل السابع: المطلوب منه فقط: ص194-195-196

الفصل الثّامن: غير مطلوب (محذوف)