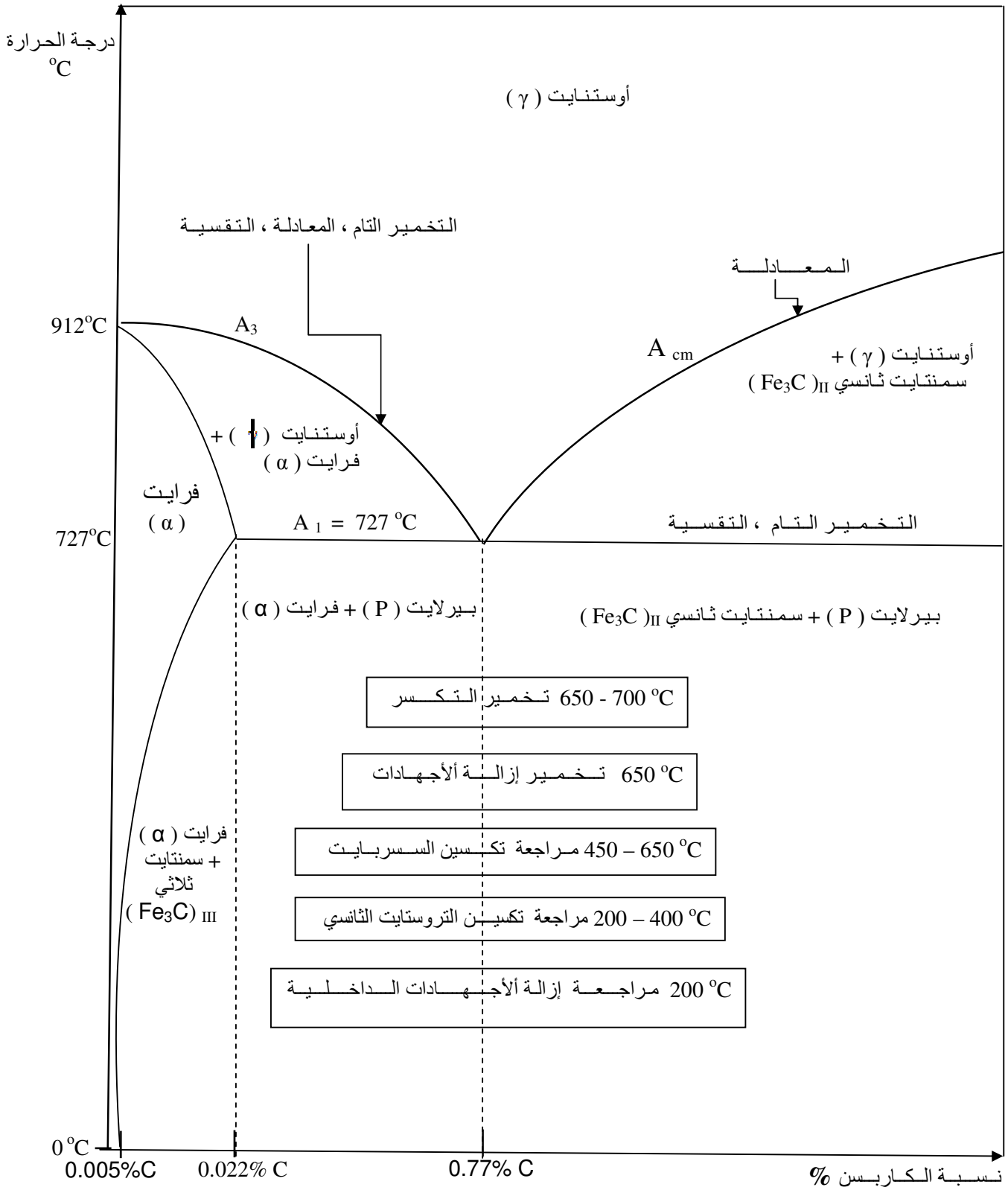
Heat Treatments Of Steel المعاملات الحرارية للصلب الكاربوني



شكل رقم (1) : جزء الصلب الكاربوني من مخطط الحديد – كاربون موضحاً عليه المعاملات الحرارية

تعريف

المعاملات الحرارية : عبارة عن مجموعة من العمليات الحرارية تستخدم لغرض تحسين الخواص الميكانيكية للمعادن بصورة عامة والصلب الكاربوني بصورة خاصة ، مثل مقاومة الشد القصوى والمتانة والمطيلية والصلادة وتتضمن المعاملات الحرارية للصلب ، تسخينه الى درجة حرارة معينة ، وأبقائه في تلك الدرجة الحرارية فترة زمنية محددة لغرض حصول التحولات الطورية أو التجانس ، ومن ثم التبريد بمعدلات تبريد مختلفة حسب نوع المعاملة الحرارية أو الخواص الميكانيكية المطلوبة.

أنواع المعاملات الحرارية للصلب الكاربوني

أ. التخمير (التلدين) *Annealing*
ب. المعادلة *Normalising*
ج. التقسية (التصليد) *Quenching (Hardening)*
د. المراجعة (التطبيع) *Tempering*

أ. التخمير (التلدين) *Annealing*

تعريف

التخمير : عبارة عن عملية تلدين أو تليين (أو تطرية) الصلب الكاربوني ، أضافة الى تحقيق بعض الاهداف الاخرى ، وتتم عملية التخمير بواسطة تسخين الصلب الى درجة حرارة معينة (حسب نوع وغرض العملية)، وأبقائه عند تلك الدرجة فترة زمنية محددة ومن ثم التبريد البطيء (عادة مايكون داخل الفرن) .

أهداف عملية التخمير

1. أزالة ألاجهادات الداخلية الناتجة من عمليات التشكيل على البارد والساخن مثل الدرفلة والحدادة والسحب.
2. زيادة المطيلية والمتانة أو المحافظة عليهما.
3. التغلب على حالة عدم التجانس في البنية الداخلية أو لغرض الحصول على حبيبات دقيقة الحجم وتحسين خواص التشغيل .

مراحل عملية التخمير

أ. مرحلة أزالة ألاجهادات ، ب. أعادة التبلور ، ج. نمو الحبيبات .

أنواع عمليات التخمير (*Types pf Annealing*)

---

1. تخمير (تلدين) أزالة ألاجهادات *Stress Releif Annealing*

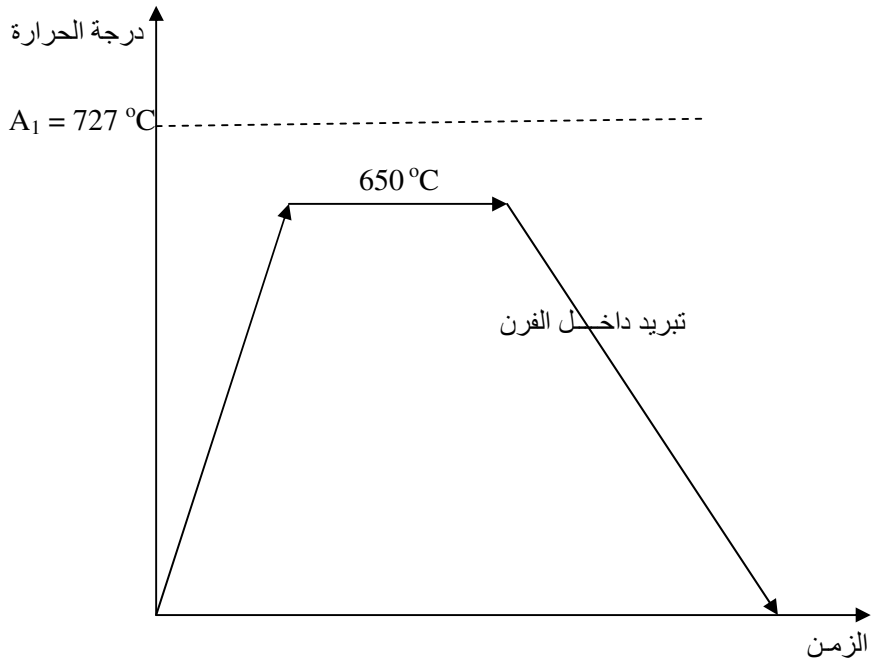
- تتم هذة العملية بواسطة تسخين الصلب الى درجة حرارة (650 ^{o}C) ، وألابقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية محددة ، ومن ثم التبريد داخل الفرن وكما موضح بالشكلين رقم (1 و 2) ، وبما أن هذه الدرجة الحرارية أعلى من درجة حرارة أعادة التبلور للصلب الكاربوني والتي تساوي (500 ^{o}C) ، فأن عملية أعادة التبلور سوف تحدث وتكون سريعة بحيث تكتمل في دقائق معدودة ، لذا يجب عدم التسخين لفترة زمنية طويلة لان ذلك يؤدي الى حدوث نمو حبيبي ، حيث تبدأ طبقات السمنتايت الموجودة في البيرلايت بالاندماج مع بعضها متخذة ً شكلا ً كرويا ً ، الامر الذي يعني أن البنية الداخلية الناتجة تكون عبارة عن كريات من السمنتايت منفصلة داخل أرضية من الفرايت .

الهدف من أجراء المعاملة : تهدف عملية تخمير أزالة الأجهادات الى : -

1. أزالة الاجهادات الداخلية المتكونة بسبب التشكيل على البارد والساخن ، 2. زيادة المطيلية ، 3. أنخفاض المتانة .

ملاحظة

في هذا النوع من التخمير لاتحدث أي تحولات طورية في البنية الداخلية للصلب ، وذلك لان التسخين يتم لغاية درجة حرارة (500 ^{o}C) والتي تكون أقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى للصلب الكاربوني (A_1 ، والتي تساوي 727 ^{o}C) .



شكل رقم (2) : تخمير أزالة الأجهادات موضحاً على منحنى درجة الحرارة – الزمن

---

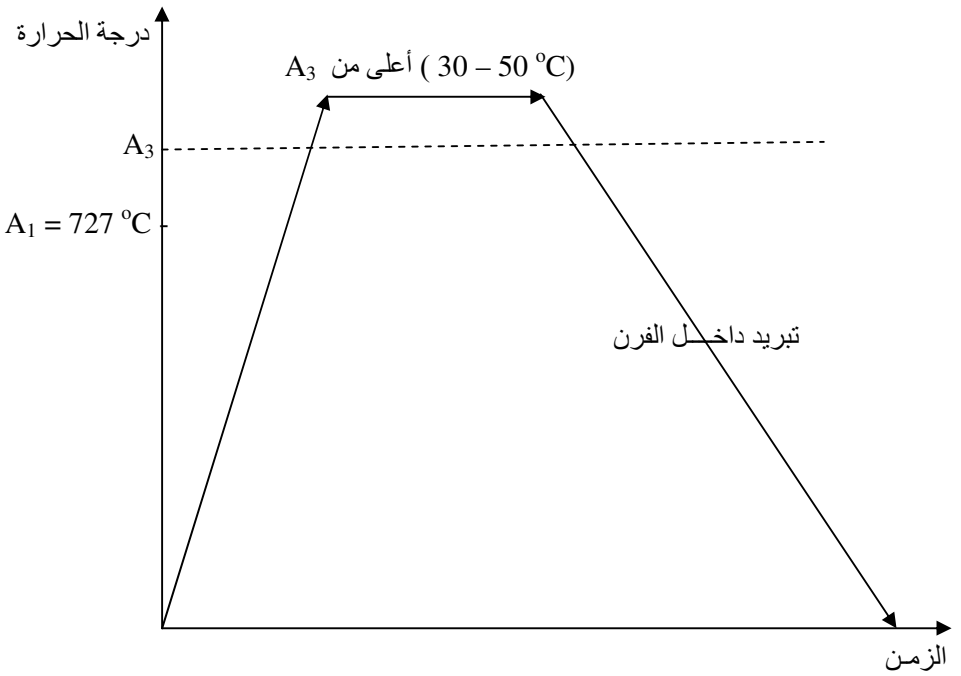
2. التخمير (التلدين) التام *Full Annealing* ويسمى أحياناً تخمير (تلدين) المسبوكات

- تتم هذة العملية بواسطة تسخين الصلب الى درجة حرارة (50 ^{o}C - 30) أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا (A_3) للصلب قبل اليوتكتويد ، وأعلى من درجة الحرارة الحرجة السفلى (A_1) للصلب بعد اليوتكتويد وبذلك سوف يتحول البيرلايت الى أوستنايت مع أبقائه فترة زمنية مناسبة عند هذة الدرجة الحرارية (تعتمد على سمك القطعة المراد تخميرها ، دقيقة ونصف لكل ملم سمك) لغرض حصول التجانس والتحول الطوري ، ومن ثم التبريد ببطئ (داخل الفرن) وكما موضح بالشكلين رقم (1 و 3) . وتؤدي هذة العملية الى تحسين الخواص الميكانيكية حيث تزداد المطيلية والمتانة ، أما مقاومة الشد القصوى فلا تتأثر ، هذا بالاضافة الى الحصول على حبيبات دقيقة الحجم

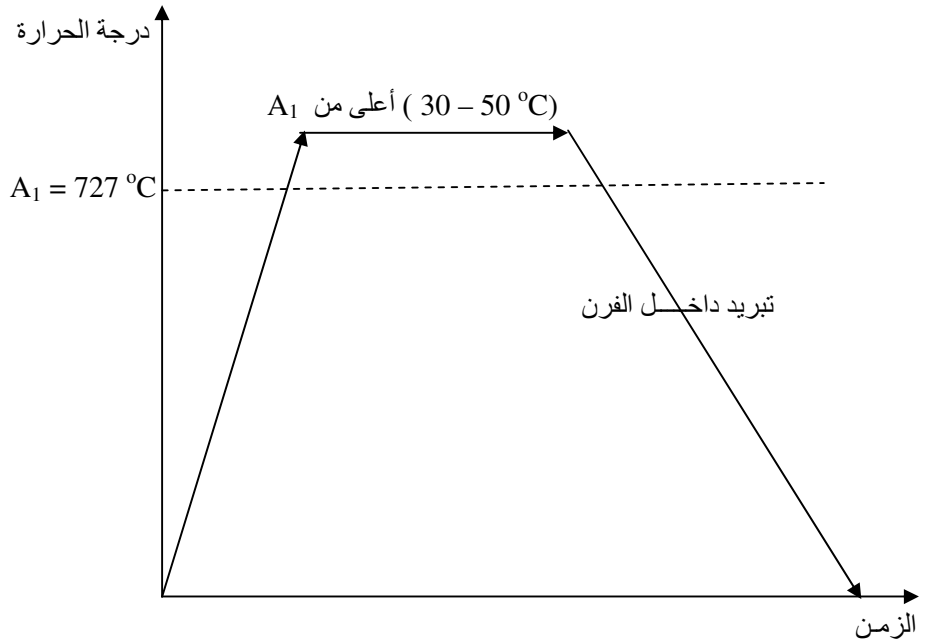
الهدف من أجراء المعاملة :

أن الغرض الرئيسي من التخمير التام والتي تجري على مسبوكات الصلب (والتي تحتوي عادة على حبيبات غليظة الحجم نتيجة لمعدل التبريد البطيء أثناء تجمد تلك المسبوكات) وكذلك على الصلب المشكل على الساخن هو : -

1. الحصول على حبيبات دقيقة الحجم ، 2. زيادة المتانة المطيلية .



أ. قبل اليوتكتويد



ب. بعد اليوتكتويد

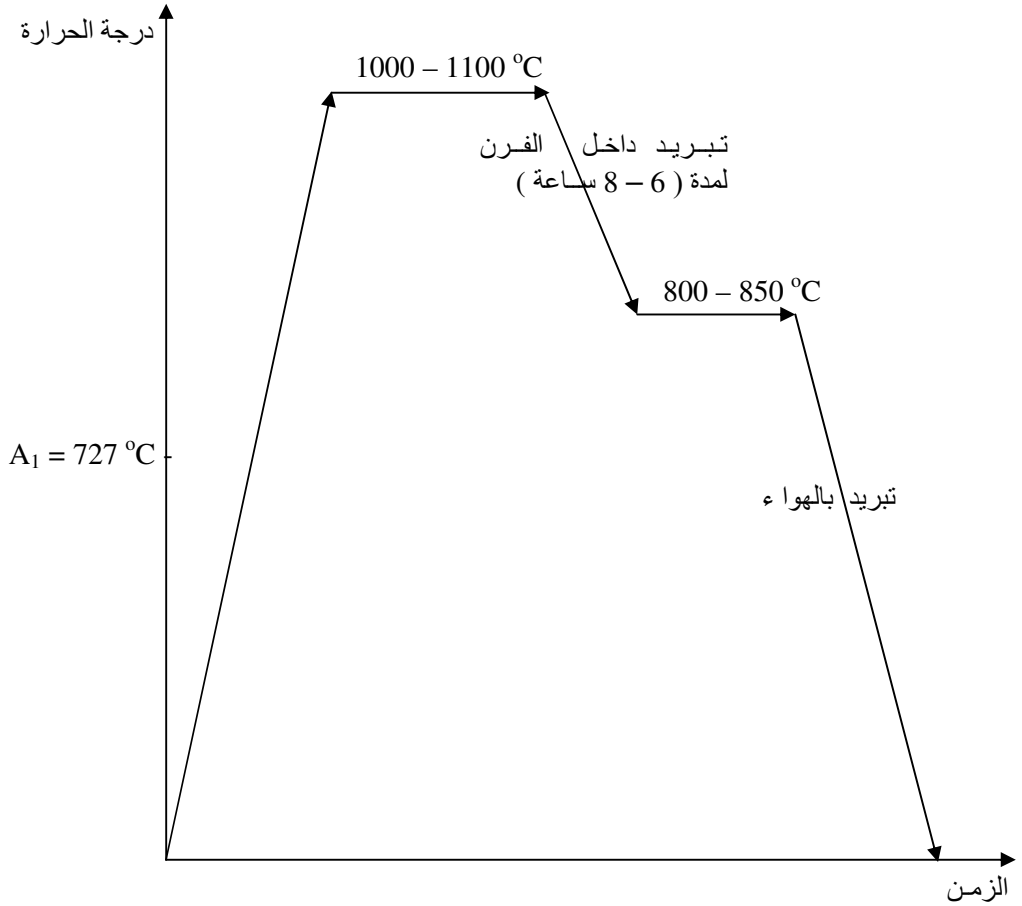
شكل رقم (3) : التخمير التام موضحاً على منحنى درجة الحرارة – الزمن . أ. قبل اليوتكتويد ، ب. بعد اليوتكتويد

- تتم هذة العملية بواسطة تسخين الصلب الى درجة حرارة (1100 ^{o}C - 1000) ، وألابقاء عند هذة الدرجة الحرارية لفترة زمنية محددة (تعتمد على سمك المقطع) ، ومن ثم التبريد داخل الفرن لمدة (6 – 8 ساعة) حتى درجة حرارة (850 ^{o}C - 800) ، ومن ثم التبريد
في الهواء الى درجة حرارة الغرفة وكما موضح بالشكل رقم (4) . وتؤدي عملية التخمير الانتشاري عادة الى تكوين بنية غليظة الحجم ، الأمر الذي يتطلب أجراء عملية تخمير تام بعد أجراء التخمير ألانتشاري لغرض الحصول على بنية دقيقة الحجم .

الهدف من أجراء المعاملة :

أن الغرض الرئيسي من أجراء عملية تخمير التجانس (التخمير الأنتشاري) هو : -
1. معادلة التركيب الكيمياوي للصلب وخاصة الصلب السبائكي ، 2. معالجة ألانعزال الدندرايتي كما هو الحال في سبائك النحاس والنيكل .

ملاحظة
يجب ملاحظة عدم حدوث تأكسد أثناء عملية تخميرالتجانس نتيجة للتسخين الى درجة حرارة عالية ، لذا يجب أستخدام معدل تسخين عالي والابقاء لفترة زمنية أقل مايمكن .



شكل رقم (4) : تخمير التجانس (التخمير الأنتشاري) موضحاً على منحنى درجة الحرارة – الزمن .

4. تخمير (تلدين) التكور *Spheriodising Annealing*

- تتم هذة العملية بواسطة ، تسخين الصلب الى درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى (A_1) أي الى حوالي (650 - 700 ^oC) ، الأمر الذي يعني عدم حدوث أية تحولات طورية ، وألابقاء عند هذة الدرجة الحرارية تقريبا ً (4 دقائق لكل ملم سمك) ، ومن ثم التبريد داخل الفرن وكما موضح بالشكلين رقم (1 و 5) . وتؤدي هذة العملية الى إنخفاض الصلادة وزيادة اللدونة وألاستطالة ، بالاضافة الى نقصان مساحة المقطع وزيادة قابلية الصلب للتشكيل والتشغيل

<u>الهدف من أجراء المعاملة</u> : أن الغرض من أجراء عملية تخميرالتكورهو: -

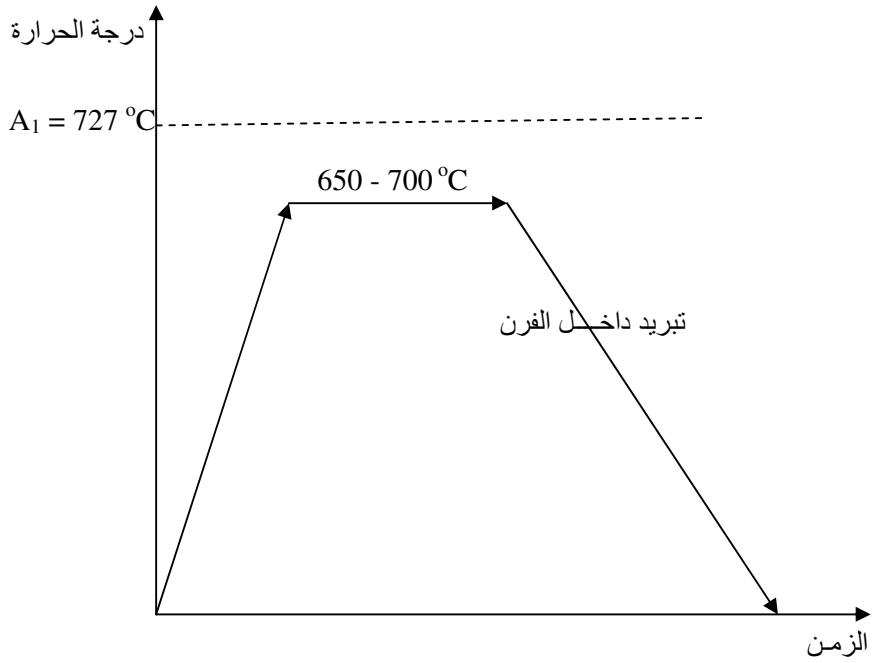
1. تحسين قابلية الصلب للتشكيل والتشغيل (وخاصة صلب العدة وبعض أنواع الصلب السبائكي الذي يمكن تقسيته بالهواء) ، حيث يتحول البيرلايت الرقائقي (الطبقي) الى بيرلايت حبيبي نتيجة لتكور السمنتايت (Fe_3C) على حدود حبيبات الفرايت ، وكما موضح بالشكل رقم (6) .
2. أنخفاض الصلادة ، 3. زيادة اللدونة والأستطالة ، 4. نقصان مساحة المقطع .

.

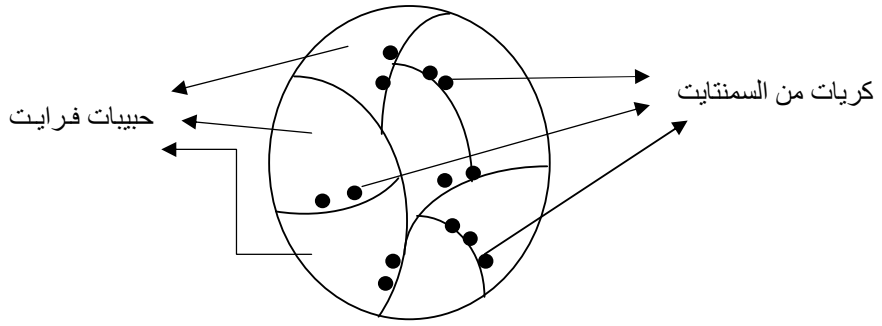
<u>ملاحظات</u>

1. لاتجرى هذة العملية على الصلب ذو حبيبات البيرلايت الغليظة الحجم ، وذلك لكون السمنتايت المتكور سوف يكون على هيئة كريات كبيرة الحجم نسبياً ، وبالتالي سوف نحصل على بنية مجهرية ذات أنجاز سطحي ردىء .

2. أن سبب تكور السمنتايت هو قوة الشد السطحي ، حيث أن التكور سوف يقلل المساحة السطحية ، وبذلك سوف تقل هذة القوة وبالتالي تكون الطاقة الكلية أقل والتي تمثل حالة أكثر أستقرار .



شكل رقم (5) : تخمير التكور موضحاً على منحنى درجة الحرارة – الزمن .



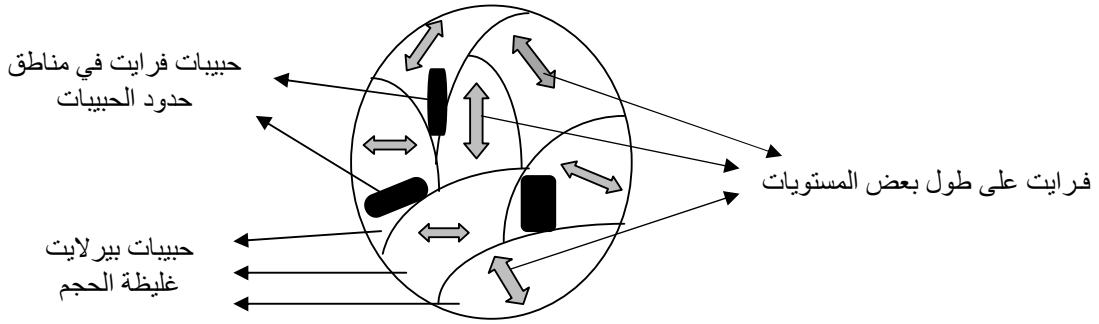
شكل رقم (6) : البيرلايت الحبيبي المتكون بعد أجراء عملية تخمير التكور

عيوب عملية تخمير الصلب الكاربوني

أن عدم السيطرة بصورة دقيقة ومضبوطة على درجة حرارة التخمير، قد يؤدي الى ظهور بعض العيوب في الصلب الكاربوني مثل :-

1. فرط التسخين *Over Heating*

أن بقاء الصلب في درجة حرارة التسخين فترة طويلة ، أو تسخينه الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التخمير الصحيحة سوف يؤديان الى نمو حبيبات الاوستنايت ، وعند التبريد فأن حبيبات الفرايت سوف تترسب أولاً عند حدود حبيبات ألاوستنايت ، ومن ثم في مستويات بلورية أخرى مكونةً ما يسمى بتركيب ودمانستاتين (Widmanstatten Structure) وكما موضح بالشكل رقم (7) ، ويتميز هذا التركيب بخواص ميكانيكية رديئة مثل أنخفاض مقاومة الشد ، والهشاشية العالية ، ويمكن التخلص من ذلك بأعادة أجراء عملية التخمير عند الدرجة الحرارية الصحيحة .



شكل رقم (7) : تركيب ودمانستاتين (Widmanstatten Structure) المتكون نتيجة لفرط التسخين

---

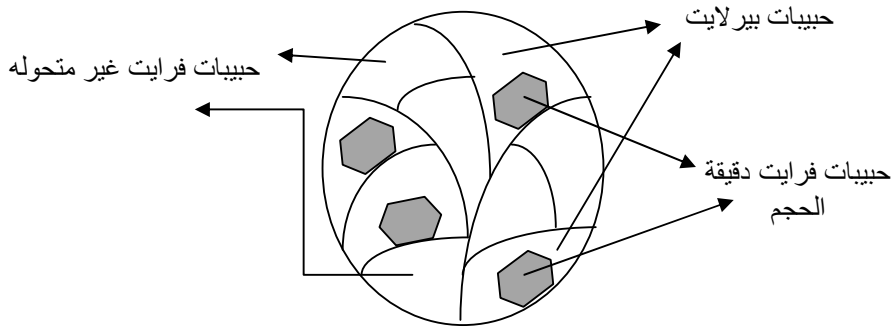
2. ألاحتراق *Burning*

أن تسخين الصلب الى درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا بكثير (قريبة من خط ألانجماد) يفضي الى حدوث ألانصهار ، وقد يحدث تأكسد حيث تتكون أكاسيد على شكل أغشية رقيقة في مناطق حدود الحبيبات ، وعندها يكون الصلب غير صالح للأ ستعمال أطلاقاً

ويقال عنه محترق .

3. التخمير القاصر *Under Annealing*

تحدث هذة الحالة ، عند تسخين الصلب الى درجة حرارة تتراوح مابين (A_1 و A_3) ، فأن البيرلايت سوف يتحول كلياً أو جزئياً الى حبيبات كثيرة ودقيقة من ألأوستنايت ، بالاضافة الى حبيبات الفرايت الغير متحول ، وعند التبريد يبدأ ألأوستنايت بترسيب فرايت دقيق على حدود الحبيبات ثم يتحول ألاوستنايت المتبقي الى بيرلايت وكما موضح باللشكل رقم (8) ، ومثل هذه النوع من البنية تحدث خلال أجراء عملية اللحام للصلب الطري .



شكل رقم (8) : البنية المجهرية المتكونة بسبب التخمير القاصر

ب . المعادلة *Normalising*

- تتم هذة العملية بواسطة تسخين الصلب (قبل اليوتكتويد ، الى درجة حرارة اعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا (A_3) ، وبعد اليوتكتويد الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الـ (A_{cm}) بحوالي ($30 - 50^oC$) وألابقاء عند هذة الدرجة الحرارية فترة زمنية محددة (دقيقة ونصف لكل ملم سمك) لغرض حصول التجانس والتحولات الطورية ، ومن ثم التبريد بالهواء الساكن وكما موضح بالشكلين رقم (1 و 9).

الهدف من أجراء المعادلة

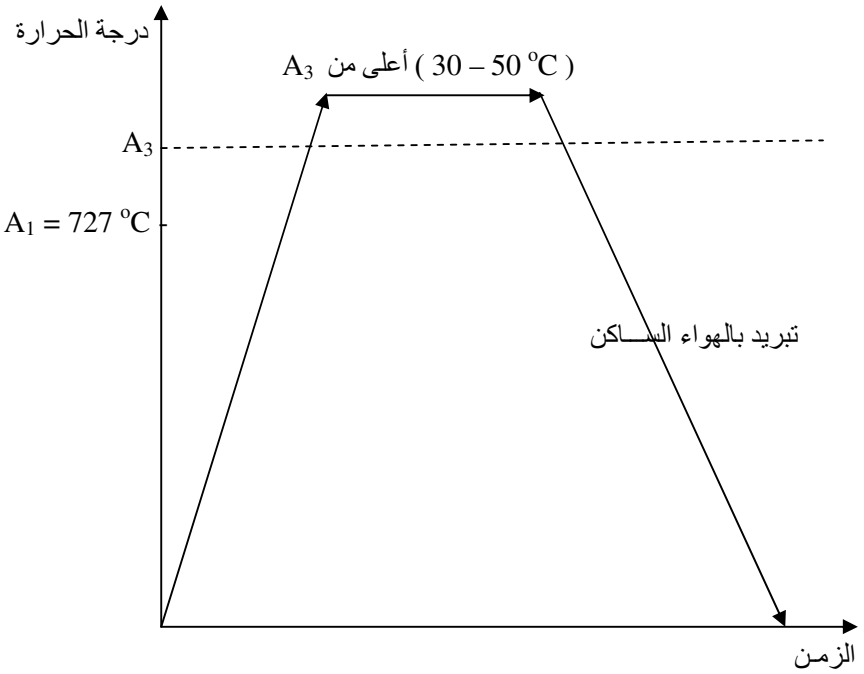
أن الغرض من أجراء عملية المعادلة للصلب الكاربوني هو :-

1. التقليل من حجم الحبيبات الكبيرة ، 2. زيادة مقاومة الشد القصوى ، 3. تحسين قابلية الصلب للتشغيل ،
4. التخلص من شبكة السمنتايت المحيطة بالبيرلايت في الصلب بعد اليوتكتويد ، 5. تقليل ألاجهادات الداخلية .

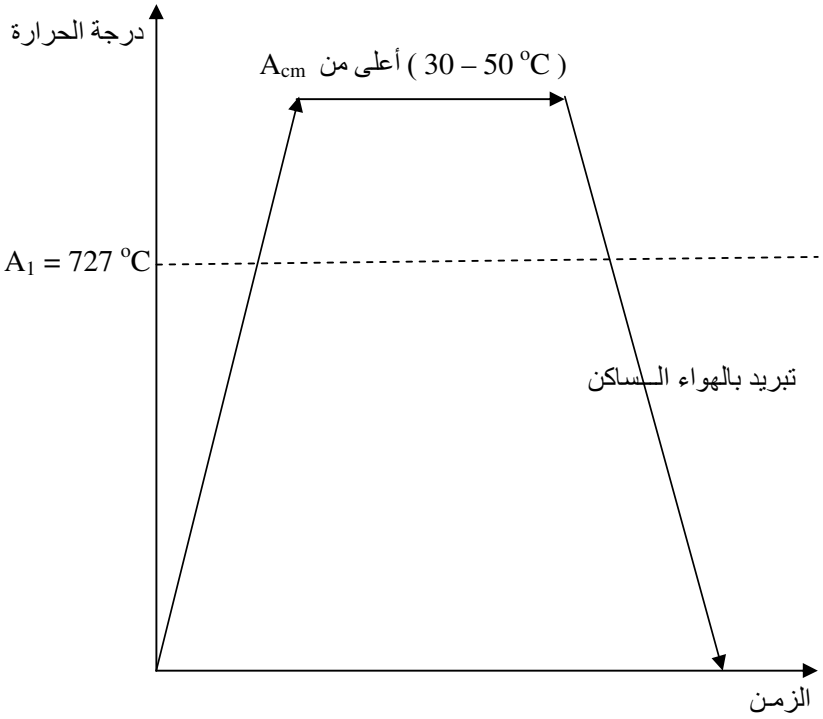
ملاحظات

ا. بما أن معدل التبريد في عملية المعادلة أسرع مما عليه في عملية التخمير ، فأن البيرلايت سوف يكون أكثر كمية وحبيباته أكثر دقة (أصغر حجماً) نسبةً للبيرلايت المتكون بعد عملية التخمير ، وذلك لان معدل التبريد السريع نسبياً في عملية المعادلة سوف يعرقل أنفصال الطور الثاني (الفرايت) في حالة الصلب قبل اليوتكتويد ، والسمنتايت الثانوي في حالة الصلب بعد اليوتكتويد) ، ألامر الذي يعني أن الصلب المعادل يمتاز بصلادة ومقاومة شد قصوى أكبر من الصلب المخمر .

2. في حالة الصلب السبائكي ، ونظراً لكون خطي بداية ونهاية التحول في منحنى الـ (.T.T.T) سوف يزحفان الي اليمين ، فأن التبريد في الهواء أثناء عملية المعادلة يعد معدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (V_c) للصلب السبائكي ، ألامر الذي يعني تحول الأوستنايت الى مارتنزايت وليس الى بيرلايت ، وبالتالي سوف تكون البنية الناتجة قصيفة ، لذلك فأن معادلة الصلب السبائكي يجب أن تتبعها عملية مراجعة عند درجة حرارة ($550 - 650^oC$) لتحسين قابلية الصلب للتشغيل .



أ. قبل اليوتكتويد



ب. بعد اليوتكتويد

شكل رقم (9) : معادلة الصلب الكاربوني موضحة على منحنى درجة الحرارة – الزمن

ج. التقسية (التصليد) (*Quenching (Hardening)*

- تتم هذه العملية ، بتسخين الصلب الى درجة حرارة (قبل اليوتكتويد ، أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا (A_3) ، وبعد اليوتكتويد ، أعلى من درجة الحرارة الحرجة السفلى (A_1) ، بحوالي ($30 - 50^oC$) وألابقاء عند هذة الدرجة الحرارية لفترة زمنية محددة ، ومن ثم التبريد بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج للصلب المراد تقسيته ِ وكما موضح بالشكلين رقم (1 و 10) ، ولهذا تكون بنية الصلب عبارة عن مارتنزايت والذي يمتاز بصلادته العالية جداً (900 HV ، 65 HRC) ، وقصافته العالية ، وأنه كلما تزداد نسبة الكاربون في الصلب تزداد صلادة المارتنزايت .

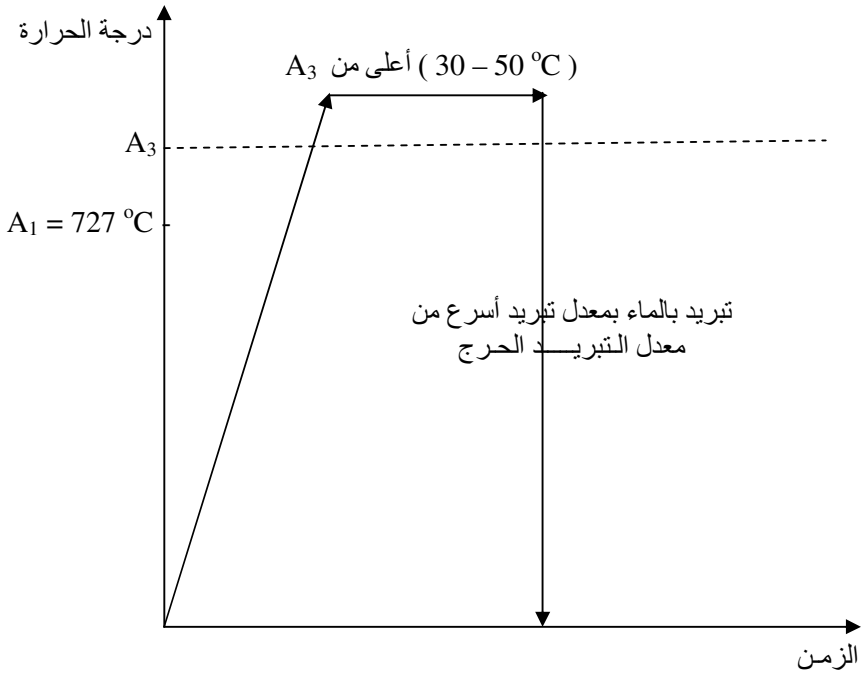
الهدف من أجراء التقسية

أن الغرض الرئيسي من أجراء عملية التقسية هو : 1. زيادة صلادة الصلب الكاربوني ، 2. زيادة مقاومته للتآكل.

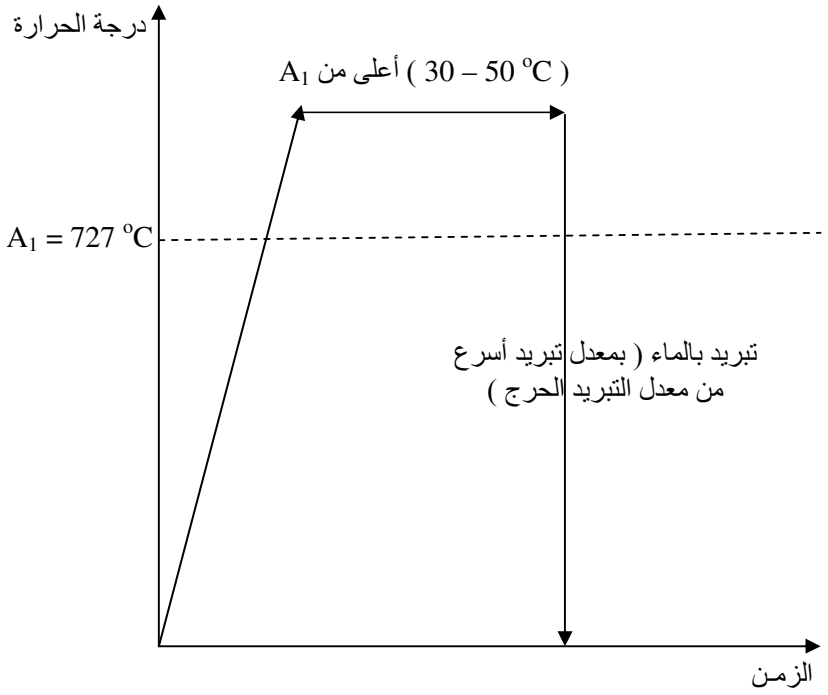
ملاحظات

1. أن معدل التبريد الحرج للصلب الكاربوني ينخفض بأزدياد نسبة الكاربون في الصلب وكذلك نسبة العناصر السبائكية أي أن خطي بداية ونهاية التحول في منحنى ألـ (T.T.T.) سوف يزحفان الى جهة اليمين ، وبذلك نجد أن بعض أنواع الصلب السبائكي يمكن تصليدها تصليداً كاملاً بعد أخمادها في الزيت والتي تسمى (*Oil Hardening Steel*) . وكذلك هناك نوع من الصلب السبائكي يمكن تصليده تصليداً كاملاً بعد تبريده في الهواء والذي يسمى (*Air Hardening Steel*) وذلك لان معدل التبريد الحرج لهما يكون منخفض بسبب وجود العناصر السبائكية .

2. كثيراً ماتحدث تشققات بسبب التقسية ، وذلك بسبب نوعين من التغيرات الحجمية التي تطرأ على الصلب بعد التقسية : أحدهما يمثل نقصان في الحجم بسبب الأنكماش الذي يصاحب عملية إنخفاض درجة الحرارة حيث أن المعادن بصورة عامة تنكمش بأنخفاض درجة الحرارة ، والاخر يمثل زيادة قي الحجم (3%) نتيجة تحول الاوستنايت (F.C.C.) الى المارتنزايت (C.B.T.) مما يؤدي الى حدوث إجهادات داخلية عالية في المعدن تؤدي الى التشققات في السطح أو الاعوجاج .



شكل رقم (10 / أ) : تقسية الصلب قبل اليوتكتويد موضحة على منحنى درجة الحرارة – الزمن



شكل رقم (10 / ب) : تقسية الصلب بعد اليوتكتويد موضحة على منحنى درجة الحرارة – الزمن

Types Of Quenching طرق التقسية

لغرض تقليل الأجهادات الداخلية والتشوهات والتشققات التي تحدث أثناء عملية التقسية الأعتيادية فيمكن أجراء عملية التقسية للصلب الكاربوني بعدة طرق مختلفة مع الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة وكما موضح بالشكل رقم (11) : -

1. التقسية المباشرة (التقسية في وسط واحد)

تتم هذة العملية بواسطة تبريد الصلب في وسط تبريد واحد (مثل الماء للصلب الكاربوني ، والزيت للصلب السبائكي) ، وتعد من أسهل الطرق ولكن تسبب كثيراً من الاجهادات الداخلية .

2 . التقسية في أكثر من وسط

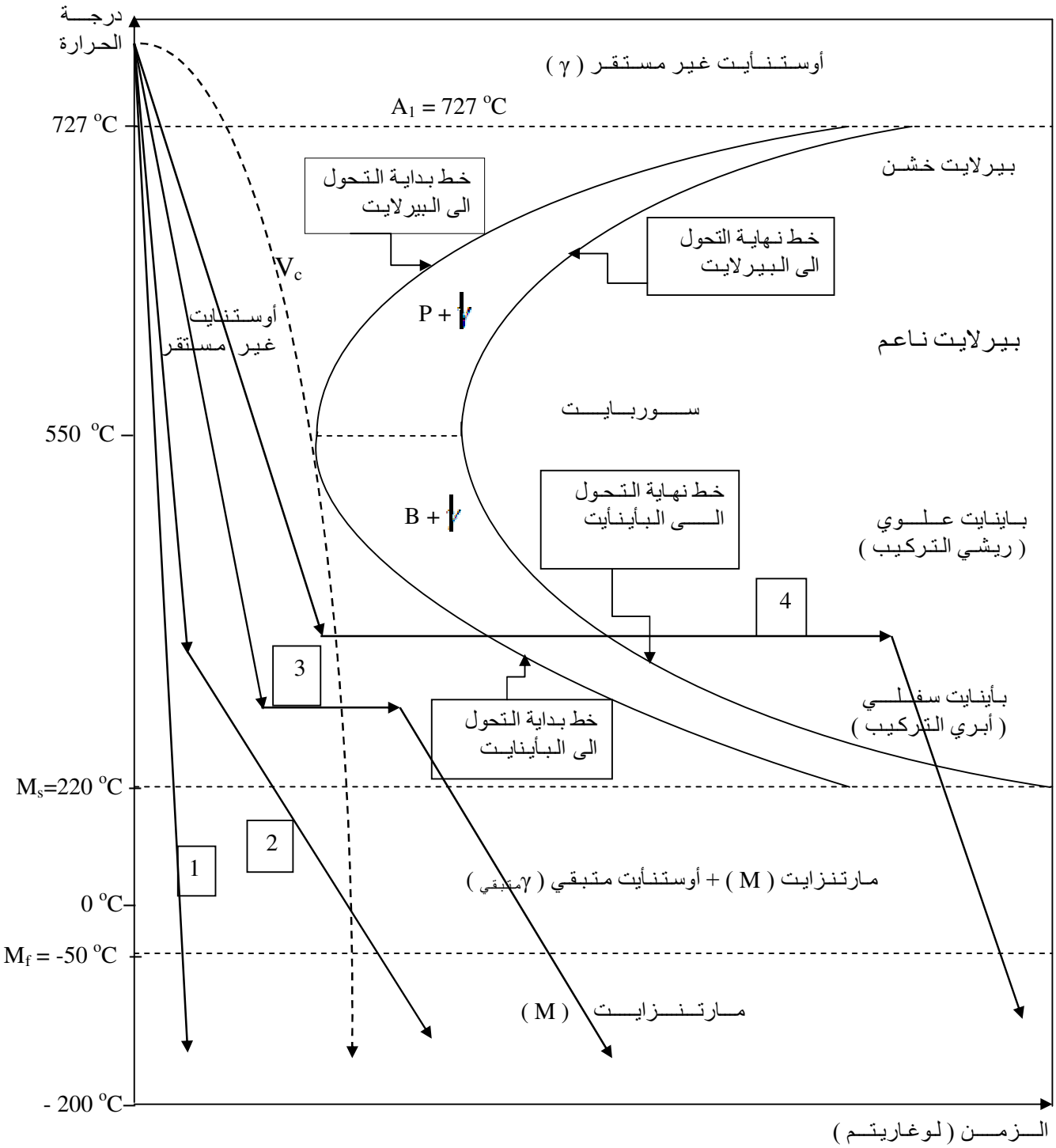
ويتم هذا النوع من التقسية عن طريق تبريد الصلب الى درجة حرارة (300 – 400^oC) بواسطة الماء ، ومن ثم ينقل الى وسط تبريد أخر يعطي معدلات تبريد منخفضة مثل (الزيت أو الهواء) ، وذلك لغرض التبريد البطئ بالاضافة الى تقليل ألاجهادات الداخلية الناتجة من التحول المارتنزايتي .

3 .التقسية المتدرجة (التقسية ذات المراجعة الذاتية)

ويتم هذا النوع من التقسية عن طريق تبريد الصلب في وسط ملحي الى درجة حرارة أعلى من (M_s) ، والابقاء عند هذة الدرجة لفترة زمنية محددة لغرض تساوي درجات الحرارة في كافة ألاجزاء ، ثم التبريد بالهواء وتكون عيوب هذا النوع أقل من ألانواع السابقة .

4. التقسية عند درجات حرارة ثابتة

وتتم هذة العملية عن طريق تبريد الصلب في وسط ملحي الى درجة حرارة أعلى من (M_s) ، ويترك عند هذة الدرجة الحرارية لحين تحول ألاوستنايت كلياً الى بايناية سفلي ، والذي يتميز بلدونته ومتانته العاليتين .



شكل رقم (11) طرق التقسية للصلب اليوتكتويدي

حيث أن : -

1. التقسية المباشرة (القسية في وسط واحد) . 2. التقسية في أكثر من وسط .
3. التقسية المتدرجة (التقسية ذات المراجعة الذاتية) . 4. ألتقسية عند درجة حرارة ثابتة .

تأثير معدلات التبريد على البنية المجهرية للصلب الكاربوني اليوتكتويدي

يمكن تصنيف البنى المجهرية المختلفة والتي تتكون بسبب أختلاف معدلات التبريد للصلب الكاربوني اليوتكتويدي بما يلي وكما موضح بالشكل رقم (12) :-

1. البيرلايت الرقائقي أو البيرلايت الخشن (البيرلايت الطبقي *Lamellar Pearlite*)

وهو عبارة عن تركيب رقائقي يحتوي على طبقات متعاقبة غليظة من الفرايت والسمنتايت ، ويتكون نتيجة التبريد البطئ جداً للأوستنايت مثلما يحدث في عمليات التخمير المختلفة (التلدين) ، أي التبريد داخل الفرن .

2. البيرلايت السوربيتي أو البيرلايت الناعم (*Sorbitic Pearlit*)

عبارة عن تركيب رقائقي ، يحتوي على طبقات من الفرايت والسمنتايت (كما في البيرلايت الرقائقي) ، ولكن هذة الطبقات تكون متقاربة أكثر وأكثر دقة ، ويصعب التمييز بينهما ألا بأستعمال قوة تكبير عالية ، ويتكون هذا النوع من البيرلايت نتيجة إستخدام سرعة تبريد أعلى مما عليه في البيرلايت الرقائقي ، حيث يتكون عند تبريد الصلب اليوتكتويدي بواسطة الهواء (معادلة)، وتكون صلادته ومقاومة الشد أكبر مما عليه في البيرلايت الرقائقي.

3. البيرلايت التروستيتي أو التروستايت الأبتدائي (*Troostitic Pearlite*)

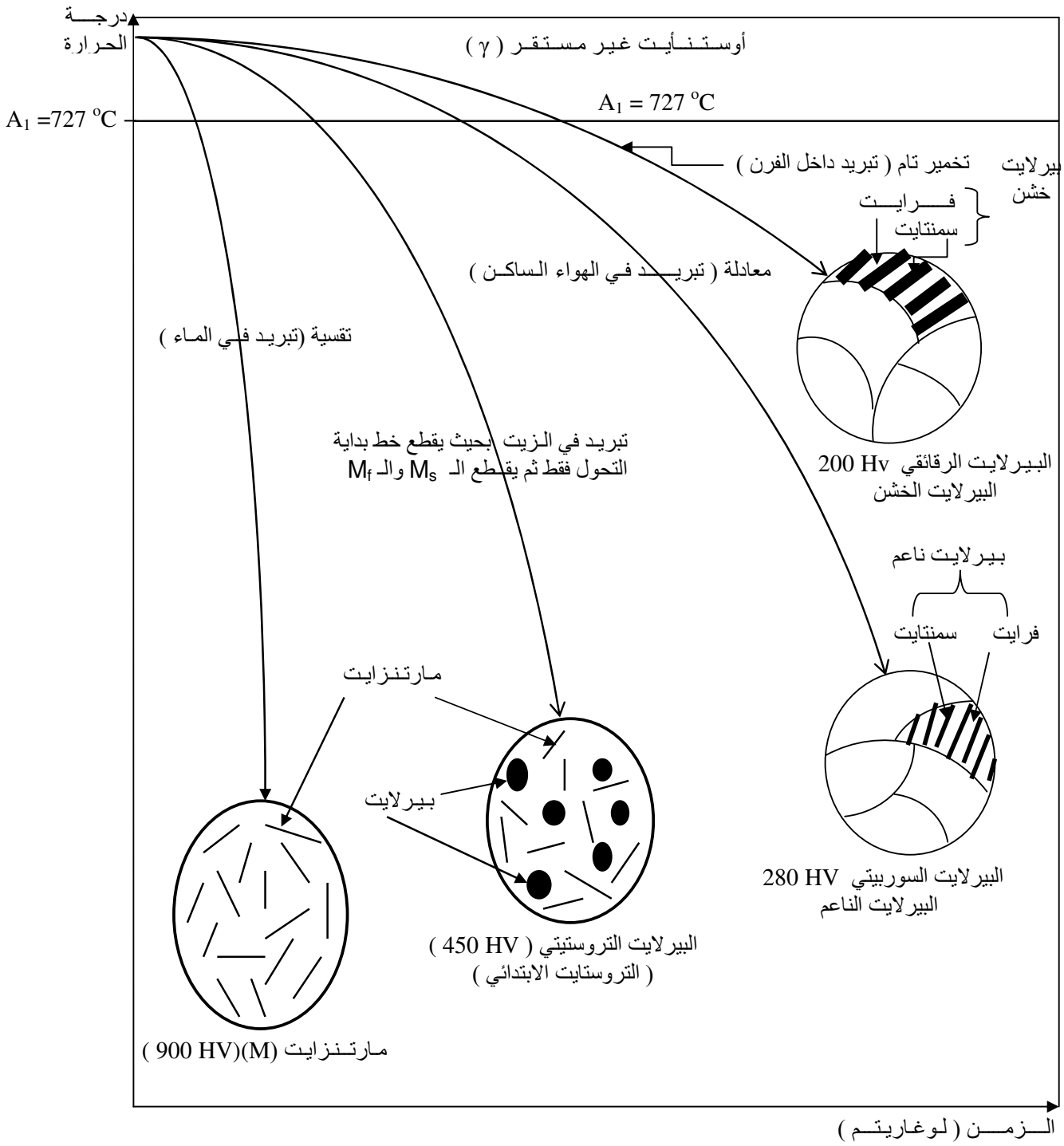
تحتوي هذة البنية على كريات سوداء من البيرلايت بالأضافة الى المارتنزايت وتتكون نتيجة التبريد السريع نسبياً للأوستنايت (بحيث يقطع
معدل التبريد خط بداية التحول فقط ومن ثم يقطع خطي بداية ونهاية التحول الى المارتنزايت مثل ألاخماد في الزيت) وتسمى هذه البنية أحياناً بـ (التروستايت ألابتدائي) للتفريق بينها وبين التروستايت الثانوي الذي نحصل عليه بعد أجراء عملية مراجعة للمارتنزايت عند درجة حرارة مابين (200 – 400 ^{o}C) .

ملاحظة

عند فحص كريات البيرلايت السوداء بواسطة قوة تكبير عالية جداً ، نجد إنها عبارة عن رقائق دقيقة من الفرايت والسمنتايت نابعة من المركز بأتجاه الخارج .

4. المارتنزا يت (*Martensite*)

وهو عبارة عن محلول صلب (جامد) مشبع بالكاربون (فرايت مشبع بالكاربون) ، وتكون شبكته البلورية رباعية الشكل متمركزة الجسم (C.B.T.). ويُعدْ من أصلد البنى في الصلب الكاربوني (حوالي 900 HV , 65 HRC) ، ويتكون نتيجة للتبريد السريع جداً للأوستنايت (ألأخماد في الماء أو المحاليل الملحية) خلال عملية التقسية .



شكل رقم (12) : تأثير معدلات التبريد على البنى المجهرية للصلب اليوتكتويدي

د . المراجعة (التطبيع) (*Tempering*)

تعريف

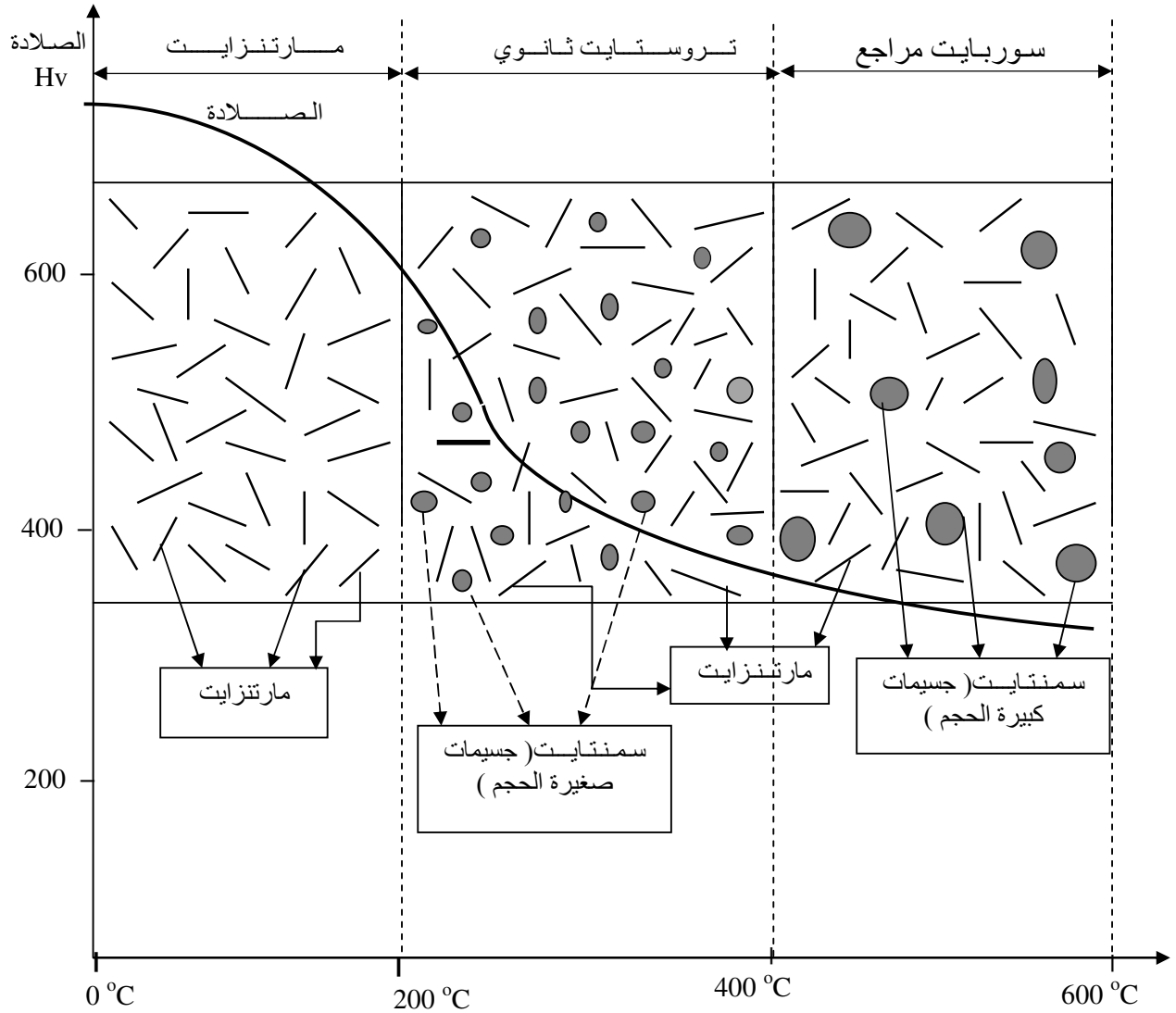
المراجعة : عبارة عن عملية تحسين خواص الصلب الكاربوني الذي سبق وأن أجريت له عملية تقسية لذلك لاتُعدْ المراجعة في بعض الأحيان
معاملة حرارية منفصلة حيث لايمكن أجرائها ألا بعد أجراء عملية التقسية ، وتتم عملية المراجعة في درجات حرارة مختلفة حسب المواصفات المطلوبة .

الهدف من العملية

أن الغرض الرئيسي من أجراء عملية المراجعة مايلي : -

1 . التخلص من ألاجهادات الداخلية المتكونة نتيجة التقسية ، 2 . التخلص من القصافة العالية ، 3 . زيادة المتانة واللدونة ، 4 . تقليل الصلادة ومقاومة الشد القصوى .

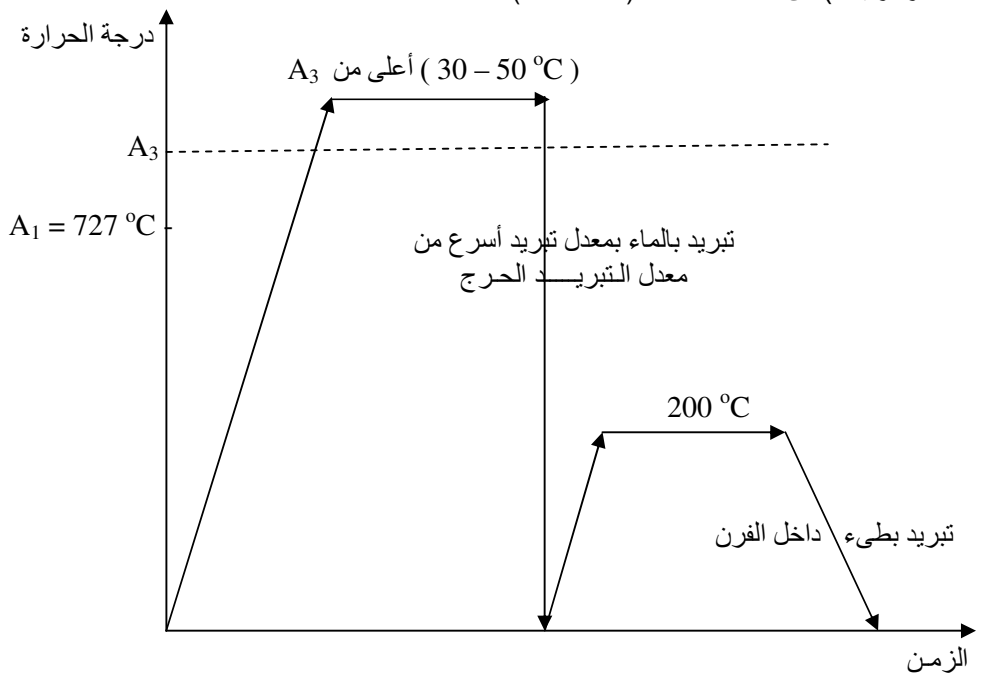
- تتم عملية المراجعة بواسطة تسخين الصلب الى درجة حرارة أقل من (A_1) (حسب نوع المراجعة المطلوبة) وألابقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية مناسبة ، ومن ثم التبريد البطيء ، حيث يمكن أجراء عملية المراجعة في أكثر من درجة حرارية حسب الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية المطلوبة وكما موضح بالشكل رقم (13) ، وكما يلي :-



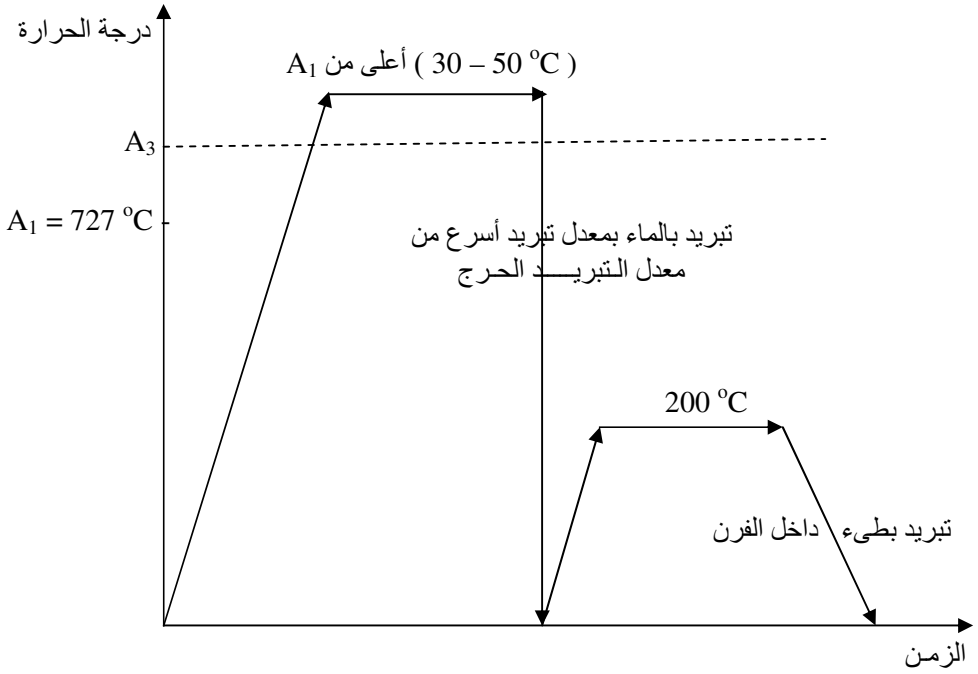
شكل رقم (13) : تأثير درجة حرارة المراجعة على الصلادة والبنية المجهرية للصلب اليوتكتويدي

1. مراجعة أزالة الأجهادات

تتم هذة العملية من خلال تسخين الصلب المقسى الى درجة حرارة حوالي (200 ^{o}C) وكما موضح بالشكل رقم (14) ، حيث تكون هذة الدرجة الحرارية كافية لأزالة ألاجهادات الداخلية المتكونة نتيجة لعملية التقسية بسبب تشوية الشبكة البلورية ، حيث يبدأ المارتنزايت خلال هذه العملية ، بفرز ذرات الكاربون الفائضة ألامر الذي يفضي الى أن تكون النسبة (c / a = 1) ، أي تقترب الشبكة البلورية الرباعية المتمركزة الجسم (.C.B.T ، المارتنزايت) من الشكل المكعب (.B.C.C) .



أ . قبل اليوتكتويد

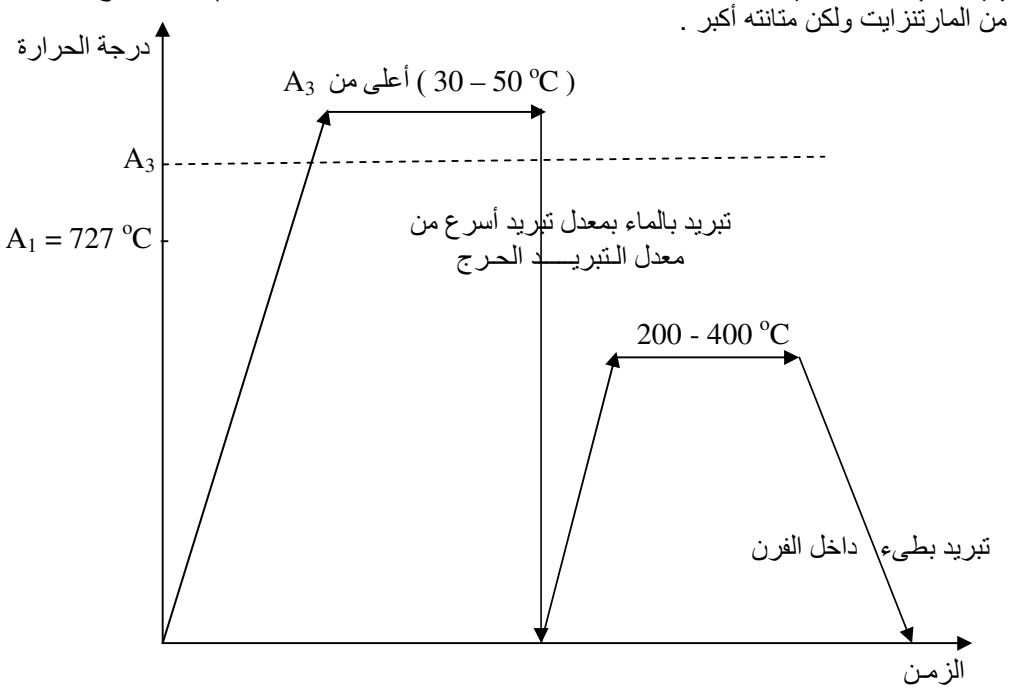


ب . بعد اليوتكتويد

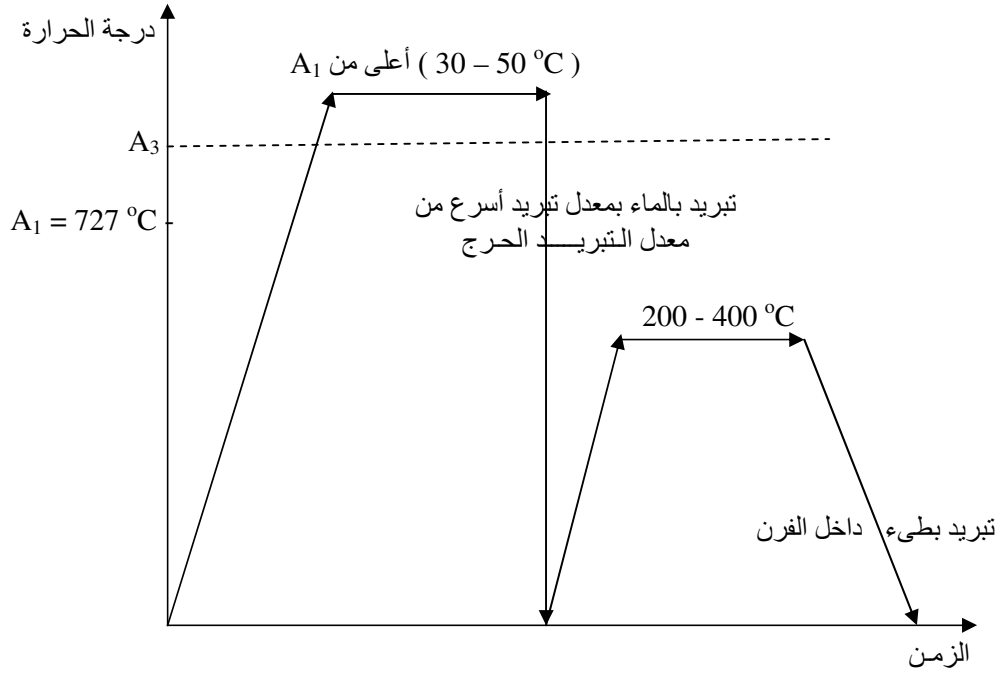
شكل رقم (14) : مراجعة أزالة الأجهادات للصلب قبل وبعد اليوتكتويد

2. مراجعة تكوين التروستايت الثانوي

تتم هذة العملية من خلال تسخين الصلب المقسى الى درجة حرارة مابين (200 - 400 ^{o}C) وكما موضح بالشكل رقم (15) ، حيث يستمر إنفصال ذرات الكاربون من المارتنزايت مكونة ً سمنتايت (Fe_3C) والذي يكون عبارة عن جسيمات دقيقة جداً ، وتسمى البنية الناتجه بـ (التروستايت الثانوي) والذي عبارة عن (مارتنزايت + جسيمات صغيرة جداً من السمنتايت Fe_3C) كما موضح بالشكل رقم (13) ، وتكون صلادته أقل من المارتنزايت ولكن متانته أكبر .



أ . قبل اليوتكتويد

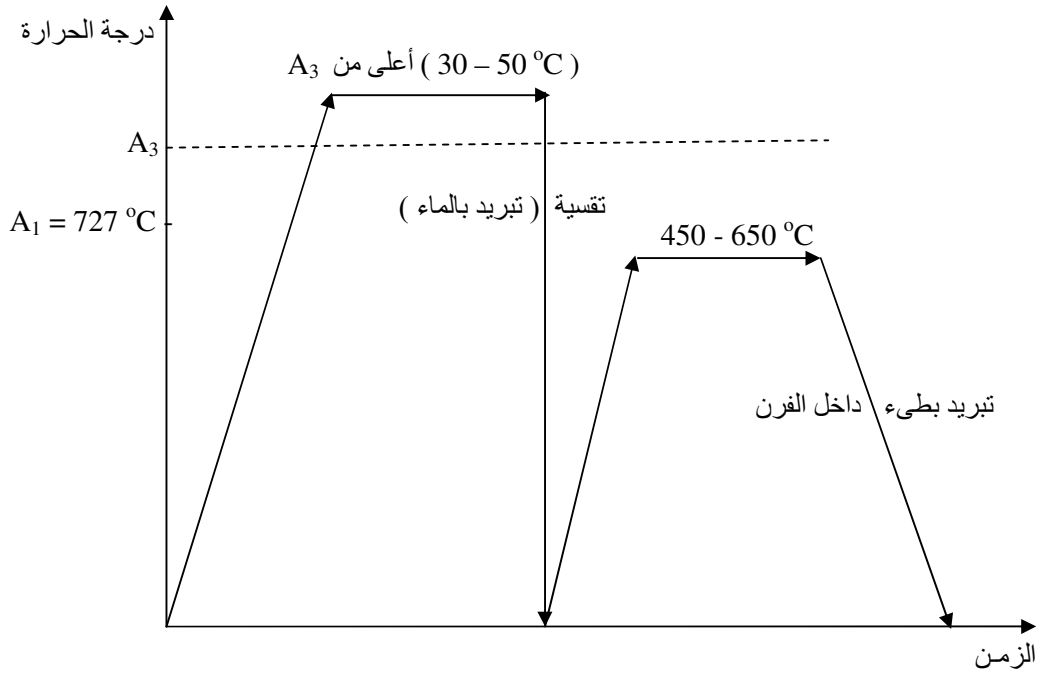


ب . بعد اليوتكتويد

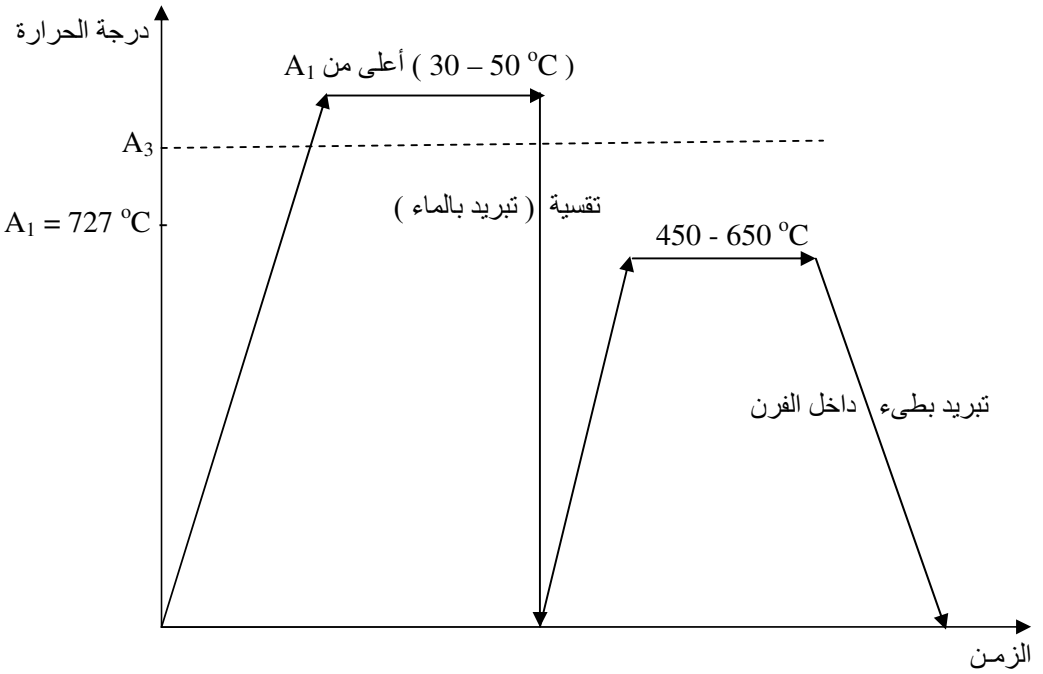
شكل رقم (15) : مراجعة تكوين التروستايت الثانوي للصلب قبل وبعد اليوتكتويد

. مراجعة تكوين السوربايت المراجع

تتم هذة العملية من خلال تسخين الصلب المقسى الى درجة حرارة مابين ($450 - 650\ ^oC$) وكما موضح بالشكل رقم (16) ، وتؤدي هذة المراجعة الى تجمع جسيمات السمنتايت الصغيرة ، حيث تتكون جسيمات أكبر حجماً واقل عدداً كما موضح بالشكل رقم (13) وتسمى هذه البنية بـ (السوربايت المراجع) ، والذي تكون صلادته ومقاومة الشد أقل من التروستايت الثانوي بينما تزداد المتانة والمطيلية .



أ . قبل اليوتكتويد



ب . بعد اليوتكتويد

شكل رقم (16) : مراجعة تكوين السوربايت المراجع للصلب قبل وبعد اليوتكتويد

ملاحظات

1. تقل مقاومة الصلب للصدمات عند مراجعته عند درجة حرارة (250 - 400 ^{o}C) ، وتسمى هذه الظاهرة بـ (تقصف المراجعة) ، والذي يُعلَلْ سبب ظهورها الى تحلل ألاوستنايت المتبقي أو ترسب الكاربيدات ، لذا يجب تجنب المراجعة عند هذه الدرجة الحرارية .

2. لايوجد هناك حد مميز بين التروستايت الثانوي والسوربايت المراجع ، حيث يتم التفريق بينهما على أساس حجم جسيمات السمنتايت فقط .

3 . يستخدم الصلب المراجع والذي تكون بنيته الداخلية عبارة عن سوربايت مراجع في صناعة ألاجزاء المعرضة للحرارة ، والتي تتعرض لجهود متغيرة مثل المحاور وألاعمدة المرفقية والقضبان الرابطة .

سؤال محلول : قارن بين السوربايت المراجع والتروستايت الثانوي .

السوربايت المراجع	التروستايت الثانوي
1. يتكون نتيجة لمراجعة المارتنزايت عند درجة حرارة (450 – 650^{o}C)	1. يتكون نتيجة لمراجعة المارتنزايت عند درجة حرارة (200 – 400^{o}C) .
2. تكون البنية الداخلية عبارة عن (مارتنزايت + جسيمات كبيرة الحجم نسبيا ً من السمنتايت) .	2. تكون بنيته الداخلية عبارة عن (مارتنزايت + جسيمات صغيرة الحجم من السمنتايت) .
3. تكون جسيمات السمنتايت المتكونة (Fe_3C) أكبر حجماً واقل عددا ً من تلك المتكونة في حالة التروستايت الثانوي .	3. تكون تكون جسيمات السمنتايت المتكونة ، أصغرحجماً وأكثر عددا ً من تلك المتكونة في حالة السوربايت المراجع
4. تكون صلادته ومقاومة الشد أقل من االتروستايت الثانوي ولكن متانته ومطيليته أعلى .	4. تكون صلادته أقل من المارتنزايت ولكن متانته أكبر .

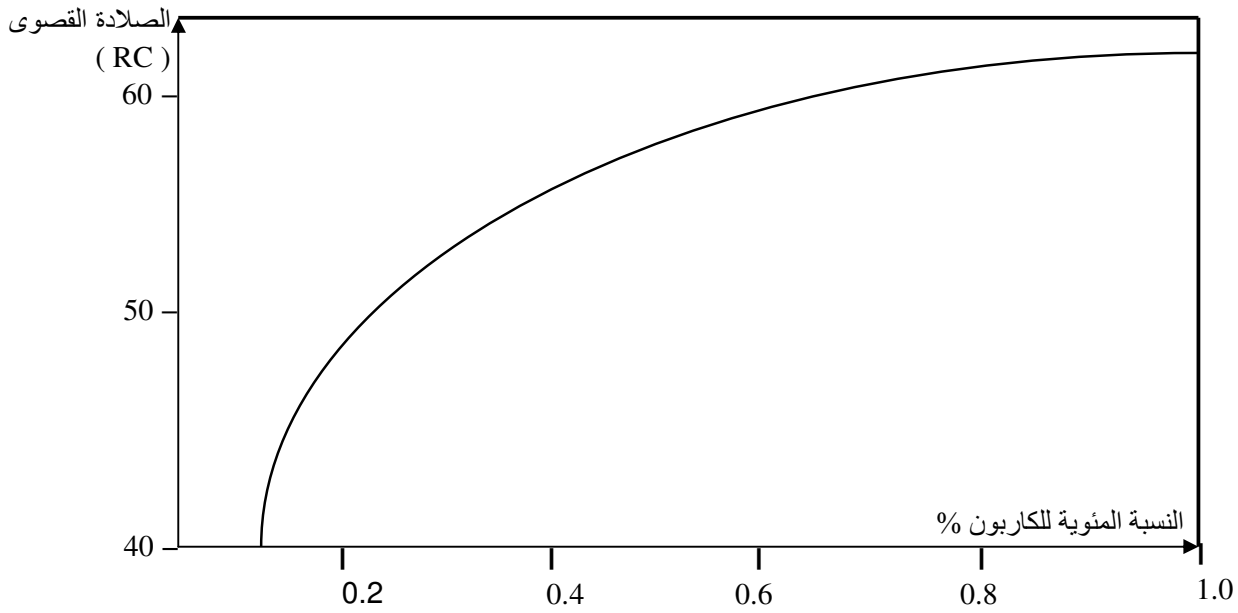
تعاريف مهمة

قابلية الصلب للتصليد (للتقسية): وهي عبارة عن قابلية الصلب على التصليد بواسطة التبريد السريع (ألأخماد) من درجات حرارة عالية الى عمق معين .

عمق التصليد : هو المسافة بين السطح ولحد الطبقة النصف مارتنزايتية (مارتنزايت 50% ، باينايت 50%) ويتوقف عمق التصليدعلى التركيب الكيمياوي للصلب وسرعة التبريدالحرجة ، حيث كلما إنخفضت سرعة التبريد الحرجة كلما كان عمق التصليد أكبر .

ملاحظة

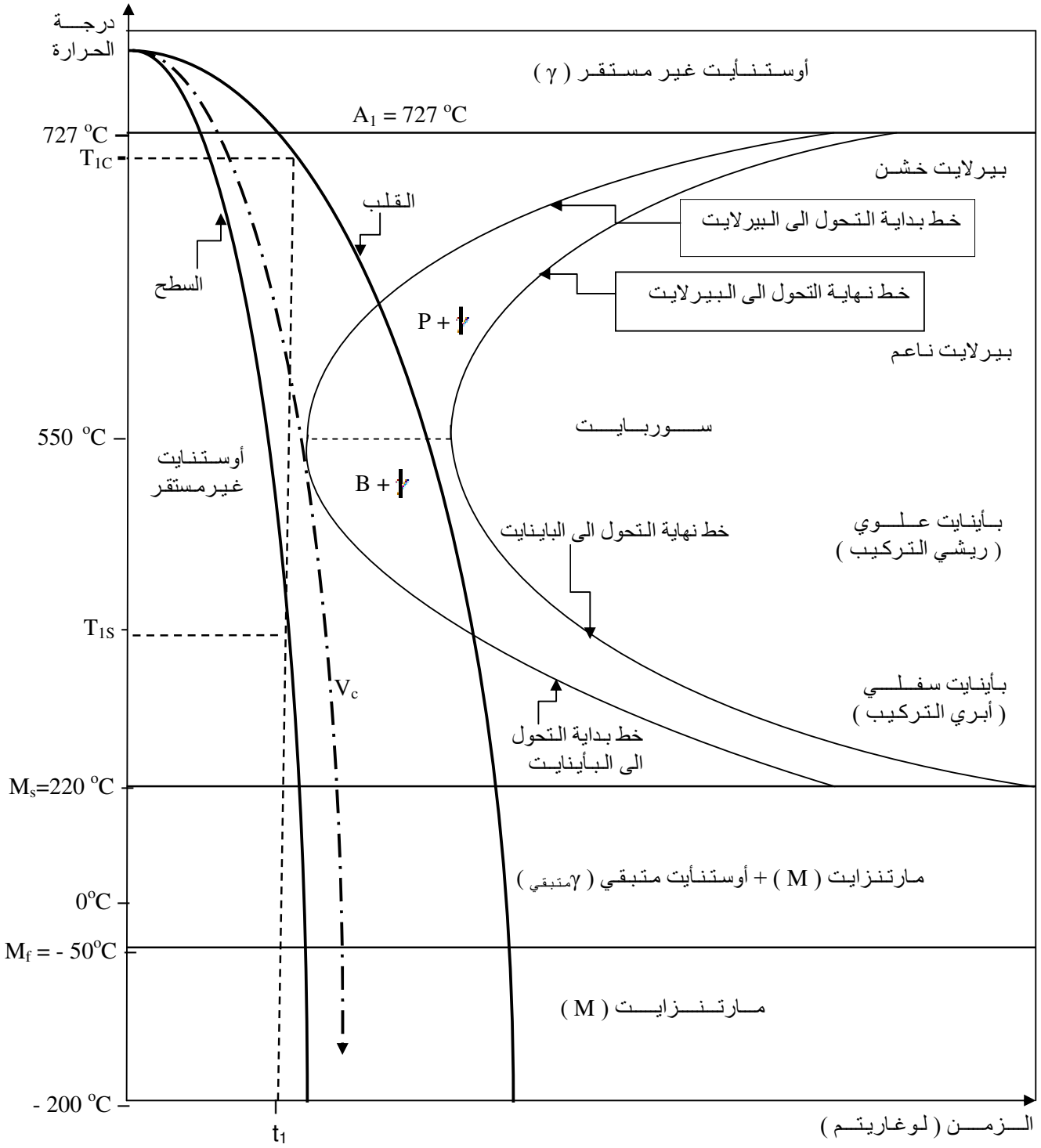
أن قابلية الصلب للتصليد ليس لها علاقة بالصلادة القصوى والتي تعتمدعلى نسبة الكاربون في الصلب وكما موضح في شكل رقم (17) ، وكذلك لاتعتمد على نسبة العناصر السبائكية ، حيث نجد أن الصلب الذي يحتوي على نسبة كاربون تساوي (0.9%C) تكون صلادته القصوى عند تصليده أعلى من الصلادة القصوى للصلب السبائكي الذي يحتوي على (3% Ni + 0.3% C) بعد التصليد ، بينما نجد أن قابلية التصليد للثاني أعلى من الأول ، وذلك لأمكانية الحصول على مقطع أكبر في هذا النوع من الصلب السبائكي مصلداً تصليداً كاملاً أي يحتوي على بنية مارتنزايتية .



شكل رقم (17) : تأثير النسبة المئوية للكاربون على الصلادة القصوى للصلب اليوتكتويدي

التطبيع المارتنزايتي والتطبيع الأوستنايتي *Martempering and Austempering*

بما أن عملية التحول من الأوستنايت الى المارتنزايت تكون مصحوبة بتغيير في الحجم ، وبما أن معدل التبريد عند أجراء عملية التقسية يكون غير متجانس خلال المقطع المقسى ، حيث نلاحظ وكما موضح بالشكل رقم (18) عند أي زمن محدد (مثل t_1) نجد أن درجتي حرارة سطح وقلب الأجزاء الميكانيكية (وخاصةً الكبيرة الحجم) المراد تقسيتها (مثل T_{1S} و T_{1C}) غير متساوية ، لذا فأن حدوث التشققات والتشوهات تكون محتملة الحدوث ، ولغرض التخلص من كل هذا يكون من المفضل أجراء عملية التطبيع المارتنزايتي أو التطبيع الأوستنايتي .



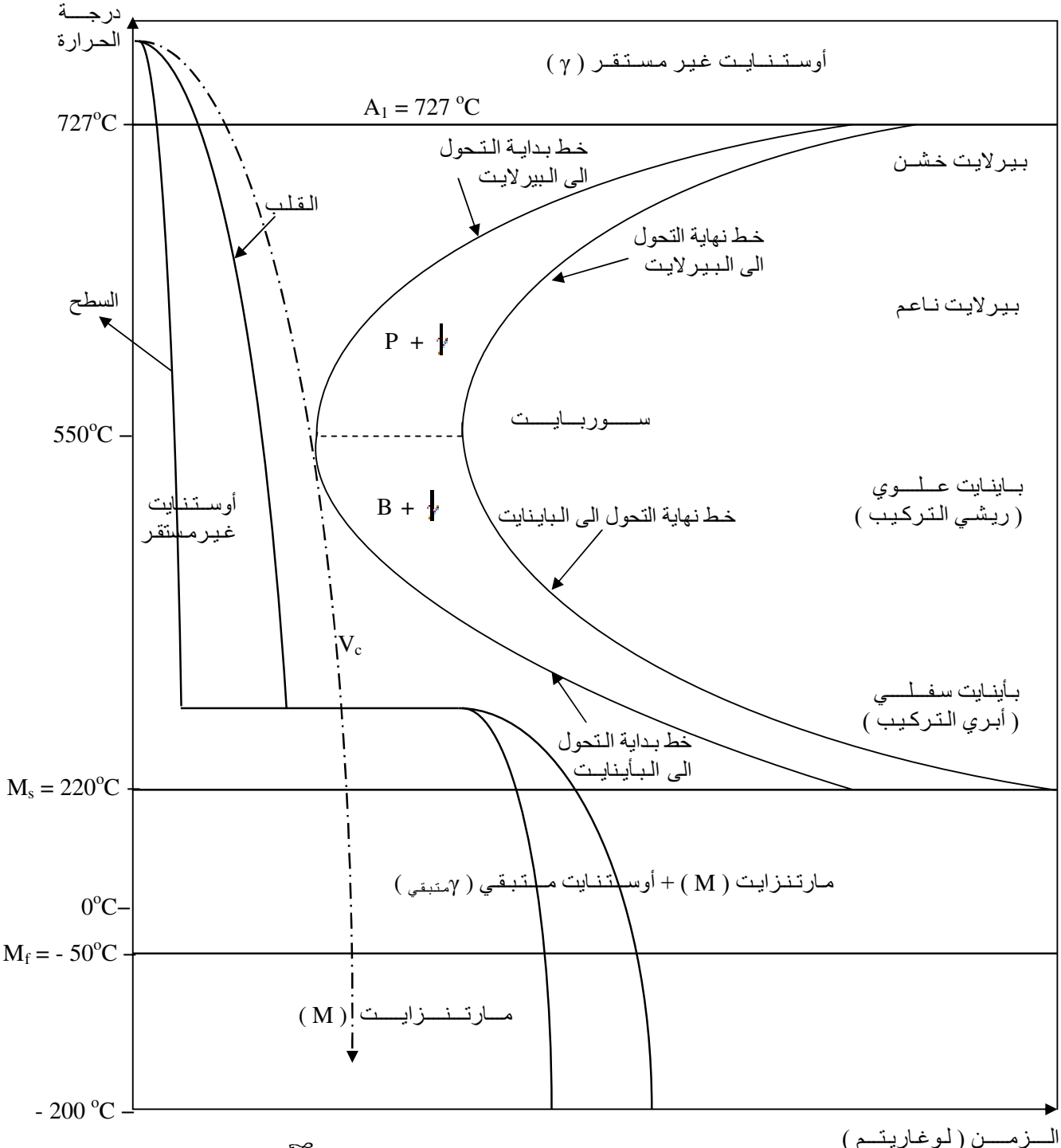
شكل رقم (18) : درجة حرارة سطح وقلب الأجزاء الميكانيكية الكبيرة الحجم أثناء عملية التقسية

التطبيع المارتنزايتي *Martempering*

تتم هذه العملية بواسطة تسخين الصلب الى درجة حرارة أعلى من (A_3) ، ثم يترك فترة زمنية محددة ، ومن ثم يبرد بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج للصلب المراد تقسيته V_c، حيث يتم ذلك في حوض ملحي الى درجة حرارة أعلى من (M_s) ، ويبقى عند هذه الدرجة الحرارية فترة زمنية حتى تكتسب كافة الأجزاء نفس الدرجة الحرارية كما موضح بالشكل رقم (19) ، ومن ثم يبرد في الهواء ، وبذلك سوف يتم الحصول على مارتنزايت يحتوي على أقل عدد من العيوب أو التشققات والتشوهات .

ملاحظة مهمه جداً

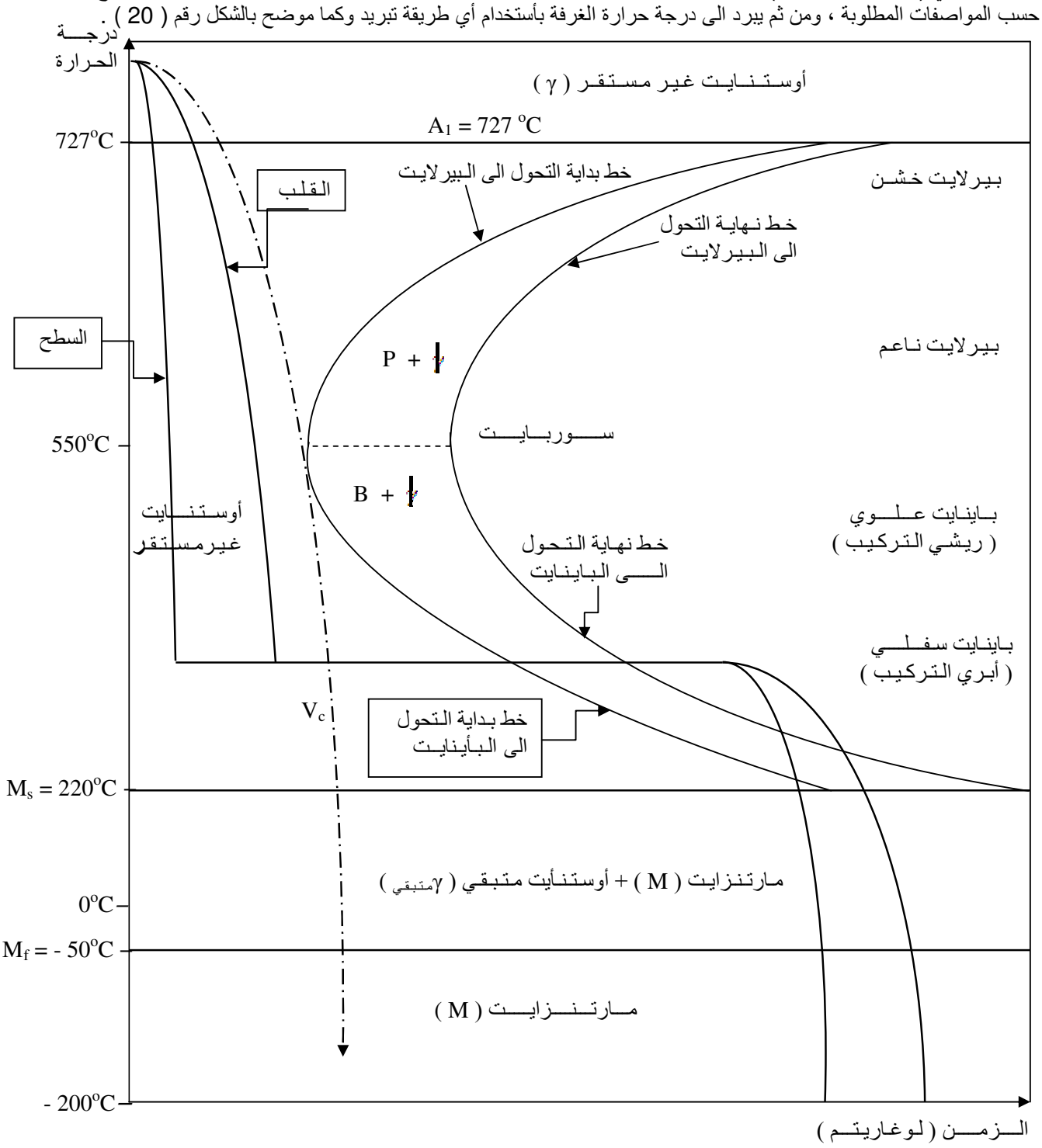
من الشكل رقم (19) يتضح أن الزمن يجب أن يكون أقل من زمن بداية التحول الى أحد أنواع البانايت (أي أقل من فترة الحضانة) ، لذا فأن هذه العملية تكون محددة الأستعمال للمقاطع الصغيرة الحجم ، ولغرض معالجة هذة الحالة تجرى عملية التطبيع الأوستنايتي .



شكل رقم (19) : التطبيع المارتنزايتي *Martempering*

Austempering التطبيع الأوستنايتي

تجرى عملية التطبيع الأوستنايتي عادةً لتقسية الأجزاء الميكانيكية الكبيرة الحجم والتي يصعب أجراء عملية التطبيع المارتنزايتي لها ، حيث لايمكن تساوي درجات حرارة كافة أجزائها في فترة زمنية أقل من فترة الحضانة ، لذلك يتم تسخين الصلب الى درجة حرارة أعلى من (A_3) ثم يبرد بعدل تبريد سريع (أسرع من معدل التبريد الحرج للصلب المراد تقسيته V_c) بواسطة منصهر ملحي أو منصهر رصاص تكون درجة حرارته حوالي ($250 - 500^oC$) ، ويترك عند هذه الدرجة الحرارية فترة زمنية كافية لتحول الأوستنايت كلياً الى أحد أنواع البايناىت حسب المواصفات المطلوبة ، ومن ثم يبرد الى درجة حرارة الغرفة بأستخدام أي طريقة تبريد وكما موضح بالشكل رقم (20) .



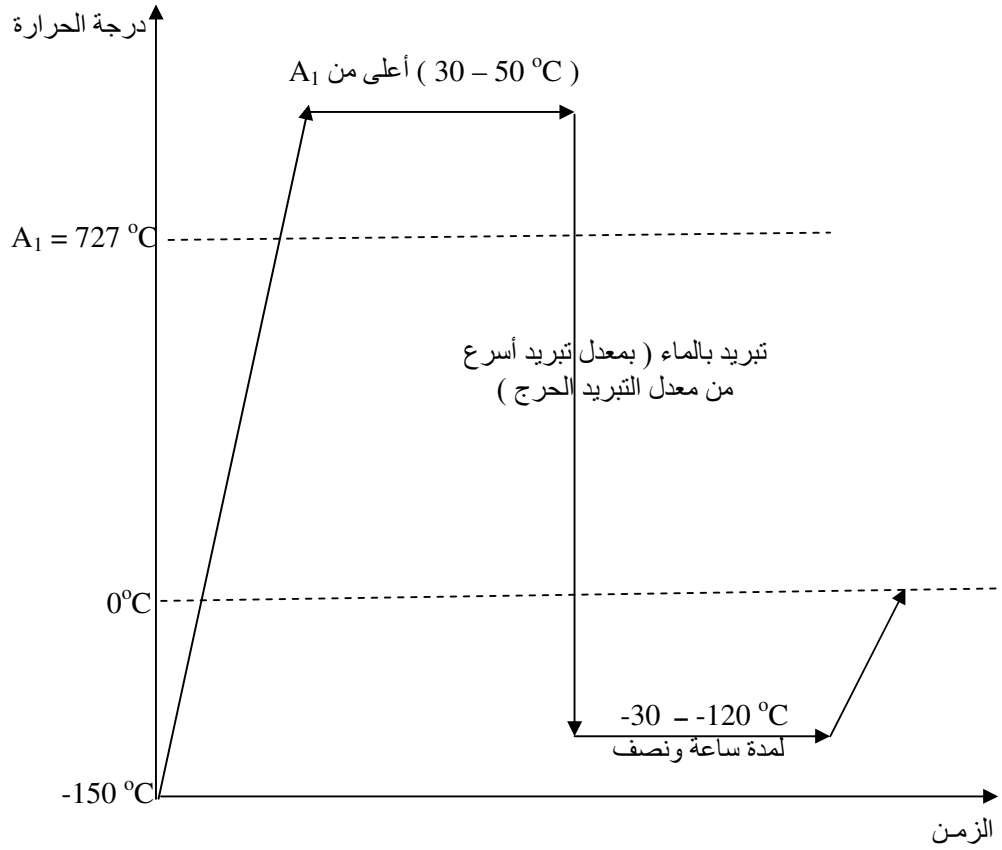
Austempering شكل رقم (20) : التطبيع الأوستنايتي

ملاحظة

أن الخواص الميكانيكية للصلب المراجع (المطبع) بهذه الطرق (طريقتي التطبيع المارتنزايتي والأوستنايتي) ، مثل قوة الشد وقوة الصدم (للصلب المتوسط والواطئ الكاربون) تكون أقل جودة من خواص نفس الصلب المصلد تصليداً كاملاً والمراجع بالطريقة ألأعتيادية ، ألا أن هذه الطريقة تجرى عند إستحالة إجراء التطبيع (المراجعة) للصلب ذات الأشكال المعقدة ، فضلاً عن تقليل حدوث التشوهات والتشققات .

المعاملة الحرارية تحت الصفرية

بما أن الأوستنايت في جميع أنواع عمليات التقسية ومهما كان معدل التبريد لايتحول كلياً الى المارتنزايت ، بل تبقى كمية منه تسمى الأوستنايت المتبقي . ونظراً لكون بقاء الأوستنايت مع المارتنزايت يؤثر سلبياً على خواص الصلب المقسى ، حيث يقلل صلادته ومقاومته للتآكل بالأضافة الى إنخفاض قابليته للتوصيل الحراري ، لذا فأن تقليل كمية الأوستنايت المتبقي الى أدنى حد ممكن يعد من الأمور المهمة ، وأن هذه العملية ممكنة بواسطة أجراء مايسمى بالـ (المعاملة الحرارية تحت الصفرية) وخاصة للصلب الذي تكون درجة حرارة نهاية تحولهِ الى المارتنزايت (M_f) أقل من الصفر ، حيث أن التبريد الى درجة حرارة أقل من (M_f) سوف يؤدي الى تحسين خواص الصلب بالأضافة الى تقليل التشوهات والتشققات ، وتكون درجة حرارة المعاملة الحرارية تحت الصفرية حوالي مابين (120-) و (30-) حيث يثبت الصلب عند هذة الدرجة الحرارية لمدة ساعة ونصف ، مع الأخذ بنظر الأعتبار بأنه يجب إجراء هذه المعاملة بعد وصول درجة حرارة المعدن الى درجة حرارة الغرفة مباشرة بعد عملية التقسية وعدم إبقاء الصلب عند درجة حرارة الغرفة لفترة زمنية طويلة قبل البدء بأجراء المعاملة الحرارية تحت الصفرية وكما موضح بالشكل رقم (21) ، لأن ذلك يؤدي الى إستقرار الأطوار المتكونة وبالتالي سوف يكون تأثير المعاملة الحرارية تحت الصفرية قليل جداً . ومن أهم أنواع الصلب الذي تجرى له هذا النوع من المعاملات الحرارية ، صلب السرع العالية وصلب أدوات القياس والتروس المكربنة وبعض أجزاء المكائن المصنوعة من الصلب السبائكي .



شكل رقم (21) : المعاملة تحت الصفرية للصلب اليوتكتويدي

أســئـلــة عــامـــــــــــة

س1: فسر علميا ً مأيأتي ، موضحا ً إجابتك بالرسم إن وجد : -

1 . لايفضل إجراء عملية تخمير التكور للصلب الكاربوني ذو حبيبات البيرلايت الغليظة الحجم .
2 . إجراء عملية تخمير تام للصلب الكاربوني الذي سبق وأن أجريت له عملية تخمير تجانس .
3 . يجب إجراء عملية مراجعة عند درجة حرارة (550 – 650°C) للصلب السبائكي المعادل .
4 . تكون كمية البيرلايت في الصلب المعادل أكثر مما عليه في الصلب المخمر .
5 . تعد عملية المعادلة (التبريد في الهواء) للصلب السبائكي تقسية .
6 . يسخن الصلب بعد اليوتكتويد المراد معادلته الى درجة حرارة أكثر من الـ (A_{cm}) ، بينما يسخن نفس الصلب المراد تقسيته الى درجة حرارة أكثر من الـ (A_1) فقط .
7 . لاتجرى عملية التطبيع المارتنزايتي للاجزاء الميكانيكية الكبيرة الحجم .
8 . حدوث تشققات وأعوجاج في أسطح الأجزاء الميكانيكية المقساة .
9. عدم إبقاء الصلب المقسى المراد إجراء معامله تحت الصفرية له عند درجة حرارة الغرفة لفترة طويلة .
10. تكون صلادة الصلب المعادل أكثر من الصلب المخمر .
11. عدم تسخين الصلب المراد تخميره بهدف إزالة الجهادات لفترة طويلة .
12. تكور السمنتايت اليوتكتويدي أثناء إجراء عملية تخمير التكور .
13. عدم حدوث أي تحولات طورية في الصلب المخمر بهدف إزالة الأجهادات .
14. تحول البيرلايت الرقائقي الى بيرلايت حبيبي بعد إجراء عملية تخمير التكور .
15. إجراء عمليتي التطبيع الأوستنايتي والمارتنزايتي .
16. تعد عملية تقليل الأوستنايت المتبقي من الأمور المهمة جدا ً خلال إجراء المعاملات الحرارية للصلب الكاربوني .
17. إجراء المعاملة تحت الصفرية .
18. يجب أجراء عملية مراجعة بعد عملية التقسية .
19. يكون البيرلايت المعادل أكثر دقة من البيرلايت المخمر .

س2 : بَيّن كيف يمكن الحصول على البنى المجهرية التالية ، موضحا ً إجابتك بالرسم على منحنى الـ (T.T.T.) ومنحنى (درجة الحرارة – الزمن) حسب الحاجة : -
البيرلايت السوربيتي ، المارتنزايت ، التروستايت الأبتدائي ، السوربايت ، البيرلايت الخشن ، السوربايت المراجع .

س3 : عرف مايأتي :

قابلية التصليد ، تركيب ودمانستاتين ، المعادلة ، الصلب المحترق ، المعاملة تحت الصفرية ، عمق التصليد ، تقصف المراجعة ، التخمير القاصر ، المعاملات الحرارية ،التروستايت الأبتدائي ، التقسية ، التطبيع الأوستنايتي ، فرط التسخين ، التروستايت الثانوي .

س4 : عرف التقسية ، ثم تكلم عن طرق التقسية المختلفة موضحا ً إجابتك بالرسم .

س5 : ما هو الهدف (الغرض) من إجراء المعاملات الحرارية التالية :
تخمير التجانس ، مراجعة الصلب عند درجة حرارة (200 – 400°C) ، تخمير التكور ، المعادلة ، التقسية ، المراجعة ، تخمير إزالة الأجهادات ، المعامله تحت الصفرية ، التطبيع الأوستنايتي .

س6 : قارن بين كل ٍمما يأتي :

1. التقسية والتخمير التام . 2. التخمير التام والتخمير الأنتشاري . 3 . المعادلة والتقسية .
4 . تخمير إزالة الأجهادات ومراجعة إزالة الأجهادات .

س7 : سُخنتْ أربع عينات من الصلب اليوتكتويدي الى درجة حراره أعلى من درجة الحرارة الحرجة السفلى (A_1) ، ومن ثم بُردت بمعدلات تبريد مختلفة لغاية درجة حرارة الغرفة ، حيث بُردتْ الاولى داخل الفرن ، والثانية بالهواء الساكن ، والثالثة بالزيت ، والرابعة بالماء .
(1) أرسم المعاملات الحرارية التي أجريت على منحنى (درجة الحرارة – الزمن) ولكل عينة على حدة .
(2) ما أسم المعاملة الحرارية التي أُجريت على كل عينة .
(3) ماهي البنى المجهرية المتوقع الحصول عليها عند درجة حرارة الغرفة أرسمها مؤشراً على الأطوار .

س8 : عرف الأوستنايت المتبقي ، مبينا ً تأثيره ُ على خواص الصلب المقسى ، ثم بيَن كيف يمكن تقليل كميته ُ .

س9 : أ . أوجد النسبة المئوية للمكونات لعينات من الصلب الكاربوني تحتوي على نسب كاربون تساوي (0.25 %C , 1.8 %C) عند درجة حرارة (727^oC) .
ب . هل تختلف النسب المئوية لمكونات العينتين عند درجة حرارة الغرفة ؟ إثبت ذلك .

س10 : سُخنت خمس عينات من الصلب اليوتكتويدي الى درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة السفلى ، ثم بُردت كما يلي : -

العينة الأولى : بمعدل تبريد أبطئ من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة الغرفة بحيث قطع خط بداية التحول عند درجة حرارة (700^oC).

العينة الثانية : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (600^oC) ، وتُركت عند هذة الدرجة الحرارية حتى قطع خط بداية التحول فقط ، ثم بُردتْ لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثالثة : بمعدل تبريد يساوي معدل التبريد الحرج للصلب اليوكتويدي ($140^oC/sec$) ولغاية الصفر المئوي .

العينة الرابعة : معدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (400^oC) ، وتُركت عند هذة الدرجة حتى قطع خطي بداية ونهاية التحول ، ثم بُردتْ لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الخامسة : بردت بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج حتى درجة حرارة الغرفة ، ثم سُخنت مرة أخرى لغاية درجة حرارة ($300\ ^oC$) لفترة زمنية كافية ، ثم بُردت تبريداً بطيئاً حتى درجة حرارة الغرفة .

من خلال دراستك للمعاملات الحرارية للصلب الكاربوني وعمليات تحول الأوستنايت أجب عما يأتي : -

1. أرسم المعاملات الحرارية التي تم أجرائها على العينات (1 و 2 و 3 و 4)على منحنى التحول الطوري (T.T.T.) والعينة الخامسة على منحنى (درجة الحرارة – الزمن) .
2. أي العينات ذات فترة حضانة أكبر، لماذا ؟
3. ماهي البنية المجهرية للعينات أعلاة عند درجة حرارة الغرفة ؟ وضح ذلك بالرسم ومؤشراً على الأطوار .
4. في أيَ العينات تم الحصول على (100% بيرلايت) .
5. من خلال الفحص المجهري للعينات أعلاه ، لوحظ وجود سمنتايت منفصل (Fe_3C) في إحداها ، حدد في أي عينة لوحظ ذلك مفسراً علمياً السبب .
6. أي العينات الأكثر صلادة ؟ لماذا .
7. ماهي المعاملة الحرارية التي أجريت على العينة الخامسة ؟ وماهو الهدف من إجرائها .
8. مانوع عمليات تحول الأوستنايت التي حدثت في كل عينة . (وضح إجابتك في جدول) .

س11. تعاني تكنلوجيا تقسية الأجزاء الميكانيكية الكبيرة الحجم من مشكلة رئيسية ؟ بيَن ذلك مع الرسم ، ثم وضح كيف يمكن التخلص من تلك المشكلة موضحاً إجابتك بالرسم .

س12. بيَن تأثير مشكلتي (1) الأجهادات الداخلية و(2) الأوستنايت المتبقي على الخواص الميكانيكية للصلب المقسى ؟ ثم بيَن كيف تتم معالجة المشكلتين أعلاه .

س13 . سُخنت عدد من عينات الصلب الكاربوني اليوتكتويدي الى درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا ثم بردت كما يلي : -

العينة الأولى : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (في حوض ملحي) لغاية درجة حرارة (300^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية لفترة زمنية أقل من فترة الحضانة ، ومن ثم التبريد بالهواء لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثانية : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثالثة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالماء) لغاية درجة حرارة الصفر المئوي ، ثم بُردت لغاية (-100^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية لمدة ساعة ونصف ، ثم تُركت حتى بلغت درجة حرارة الغرفة .

العينة الرابعة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (في منصهر ملحي) لغاية درجة حرارة (250^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية حتى قطع خطي بداية ونهاية التحول ، ومن ثم التبريد لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الخامسة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالما ء) لغاية درجة حرارة (400^oC) ثم التبريد مباشرة بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالهواء) ولكن أبطئ من معدل التبريد الأول لغاية درجة حرارة الغرفة .

من خلال دراستك للمعاملات الحرارية للصلب الكاربوني وعمليات تحول الأوستنايت ، أجب عن الأسئلة التالية :-

1. أرسم المعاملات الحرارية التي تم أجرائها على العينات (1 ، 2 ، 4 ، 5) على منحنى التحول الطوري (T.T.T.) والعينة الثالثة على منحنى (درحة الحرارة – الزمن) .
2. ماهي (ما أسم) المعاملة الحرارية التي تم أجرائها على العينات وماهو الهدف من أجرائها .
3. ما نوع عمليات تحول الأوستنايت التي حدثت لكل عينة (وضح إجابتك في جدول) .
4. أيٌ من طرق التقسية أستخدمت في تقسية العينات (وضح أجابتك في جدول) .
5. مانوع عملية التطبيع التي أجريت على العينات الأولى والرابعة .
6. أيهما أكثر صلادة العينة الثانية أم الرابعة ؟ لماذا.
7. في أيُ العينات لوحظ وجود البنى المجهرية التالية (باينايت سفلي ، بيرلايت ناعم) .
8. أي المعاملتين الحراريتين (الأولى أم الرابعة) تستخدم لتقسية الأجزاء الميكانيكية الصغيرة الحجم ؟ فسر ذلك علمياً .

س14: أجريت ْ المعاملات الحرارية الموضحة في أدناه على عدد من عينات الصلب قبل اليوتكتويد وكما يلي : -

العينة الأولى : سُخنتْ الى درجة حرارة حوالي (650^oC) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد بطئ (داخل الفرن) لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثانية : سُخنتْ الى درجة حرارة أعلى من (A_3) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ، ومن ثم التبريد بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالماء) لغاية درجة حرارة الغرفة ، وبعد ذلك سُحنتْ مرةً أخرى الى درجة حرارة مابين (400^oC – 200) ، ثم بُردتْ تبريداً بطيئاً داخل الفرن لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثالثة : سُخنتْ الى درجة حرارة حوالي (1100^oC – 1000) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد بطيء (داخل الفرن) لمدة (6 – 8 ساعات) حتى درجة حرارة حوالي (850^oC – 800) ومن ثُم بردتْ بالهواء لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الرابعة : سُخنتْ الى درجة حرارة أعلى من (A_3) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد بطيء (داخل الفرن) لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الخامسة : سُخنتْ الى درجة حرارة حوالي (700^oC – 650) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد بطيء (داخل الفرن) لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة السادسة : سُخنتْ الى درجة حرارة أعلى من (A_3) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالماء) لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة السابعة : سُخنتْ الى درجة حرارة أعلى من (A_3) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالماء) لغاية درجة حرارة الغرفة ، وبعد ذلك سُحنتْ مرةً أخرى الى درجة حرارة مابين ($650\ ^oC$ – 450) ، ثم بُردتْ تبريداً بطيئاً داخل الفرن لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثامنة : سُخنتْ الى درجة حرارة أعلى من (A_3) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد أبطئ من معدل التبريد الحرج (بالهواء) لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة التاسعة : سُخنتْ الى درجة حرارة أعلى من (A_3) والأبقاء عند هذه الدرجة الحرارية لفترة زمنية ومن ثم التبريد بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج (بالماء) لغاية درجة حرارة الغرفة ، وبعد ذلك سُحنتْ مرةً أخرى الى درجة حرارة مابين (200^oC) ، ثم بُردتْ تبريداً بطيئاً داخل الفرن لغاية درجة حرارة الغرفة .

من خلال دراستك للمعاملات الحرارية للصلب الكاربوني وعمليات تحول الأوستنايت ، أجب عن كلٍ مما يأتي :-

1. أرسم المعاملات الحرارية التي تم أجرائها على منحنى (درجة الحرارة – الزمن) ولكل عينة على حدة .

2. مانوع (أسم) المعاملات الحرارية التي تم أجرائها على كل عينة ، وماهو الهدف من أجرائها (وضح ذلك في جدول)

3. أيّ العينات (الرابعة ، السادسة ، الثامنة) أكثر كمية بيرلايت ، لـماذا ؟
4. ماهي البنى المجهرية التي تم الحصول عليها عند درجة حرارة الغرفة للعينات ماعدا الثالثة ؟ أرسمها وأشر على المكونات .
5. في أيّ من العينتين (الرابعة ، السادسة) لوحظ وجود المارتنزايت ، فسر ذلك .
6. أيّ عينة أكثر صلادة الرابعة أم الثامنة ؟ فسر ذلك علمياً .
7. قارن بين البنيتين المجهريتين المتكونتين للعينتين الثانية والسابعة (وضح ذلك في جدول) .
8. لوحظ وجود سمنتايت منفصل في ثلاث عينات ، ماهي هذة العينات ثم فسر علمياً كلٍ على حده سبب تكوين كل نوع .

س15: بُردتْ عدد من عينات الصلب اليوتكتويدي من درجة حرارة أعلى من الحرجة السفلى (A_1) بمعدلات تبريد مختلفة وكما يلي : -

العينة الاولى : بمعدل تبريد أبطئ من معدل التبريد الحرج (داخل الفرن) لغاية درجة حرارة الغرفة بحيث قطع خط بداية التحول عند درجة حرارة قريبة من درجة الحرارة الحرجة السفلى (A_1).

العينة الثانية : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (550^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية حتى قطع خطي بداية ونهاية التحول ، ومن ثم التبريد لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الثالثة : بمعدل تبريد أبطئ من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة الغرفة بحيث قطع خط بداية التحول فقط ثم خطع خطي بداية ونهاية التحول الى المارتنزايت .

العينة الرابعة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (300^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية حتى قطع خطي بداية ونهاية التحول ، ومن ثم التبريد لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة الخامسة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (600^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية حتى قطع خطي بداية ونهاية التحول ، ومن ثم التبريد بالهواء لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة السادسة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (600^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية حتى قطع خطي بداية ونهاية التحول ، ومن ثم التبريد بالماء لغاية درجة حرارة الغرفة .

العينة السابعة : بمعدل تبريد أبطئ من معدل التبريد الحرج (بالهواء) لغاية درجة حرارة الغرفة بحيث قطع خط بداية التحول عند درجة حرارة (600^oC) .

العينة الثامنة : بمعدل تبريد أسرع من معدل التبريد الحرج لغاية درجة حرارة (400^oC) والأبقاء عند هذة الدرجة الحرارية لفترة زمنية أقل من فترة الحضانة ومن ثم التبريد الى درجة حرارة الغرفة .

من خلال دراستك للمعاملات الحرارية للصلب الكاربوني وعمليات تحول الأوستنايت ، أجب عن كلٍ مما يأتي :-

1. أرسم المعاملات الحرارية التي تم أجرائها على منحنى التحول الطوري (T.T.T.) ولكل عينة على حدة .
2. أي العينات أكثر فترة حضانة .
3. أيهما أكثر صلادة العينة الثالثة أم السادسة ؟ فسر ذلك علمياً .
4. مالفرق بين البنية المجهرية المتكونة في العينتين الخامسة والسادسة ؟ وأيهما أكثر صلادة ؟ فسر ذلك علمياً .
5. أي العينتين الأولى أو السابعة : -
   1. ذات بنية مجهرية أغلظ ، 2. أكثر كمية بيرلايت ، 3. أكثر صلادة .؟ فسر ذلك علمياً ولكل فقرة على حدة .
6. في أي العينات لوحظ وجود البنى المجهرية التالية (باينايت سفلي ، بيرلايت خشن ، سوربايت ، تروستايت أبتدائي) .
7. مانوع عملية تحول الأوستنايت التي حدثت لكل عينة (وضح أجابتك في جدول) .
8. مانوع عملية التقسية التي تم أجرائها على العينة الثامنة ، وما الهدف من أجرائها .

اسم الملف:	مح7 المعاملات الحرارية للصلب الكاربوني
الدليل:	C:\Users\Students Affairs\Desktop
القالب:	C:\Users\Students Affairs\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.dotm
العنوان:	التخميروأعادة التبلورAnnealing and Recrystallisation
الموضوع:	
الكاتب:	aaa
الكلمات الأساسية:	
تعليقات:	
تاريخ الإنشاء:	18:01:00 2016/02/02
رقم التغيير:	3
الحفظ الأخير بتاريخ:	18:13:00 2016/02/02
الحفظ الأخير بقلم:	DR.Ahmed Saker 2o1O
زمن التحرير الإجمالي:	11 دقائق
الطباعة الأخيرة:	23:44:00 2017/01/09
منذ آخر طباعة كاملة	
عدد الصفحات:	28
عدد الكلمات:	6,358 (تقريباً)
عدد الأحرف:	36,245 (تقريباً)