



فكرة وتنسيق

عصام سعد إبراهيم الصاوي

الصفوة صناع الثقة

قرية قراقص ... مركز دمنهور ... محافظة البحيرة ... مصر

***مقدمة المرجع**

**فلسفة الأطوار وميكانيكا التبريد: الدليل الهندسي لتشكيل البنية وصلابة

السبائك**

بسم الله الرحمن الرحيم،

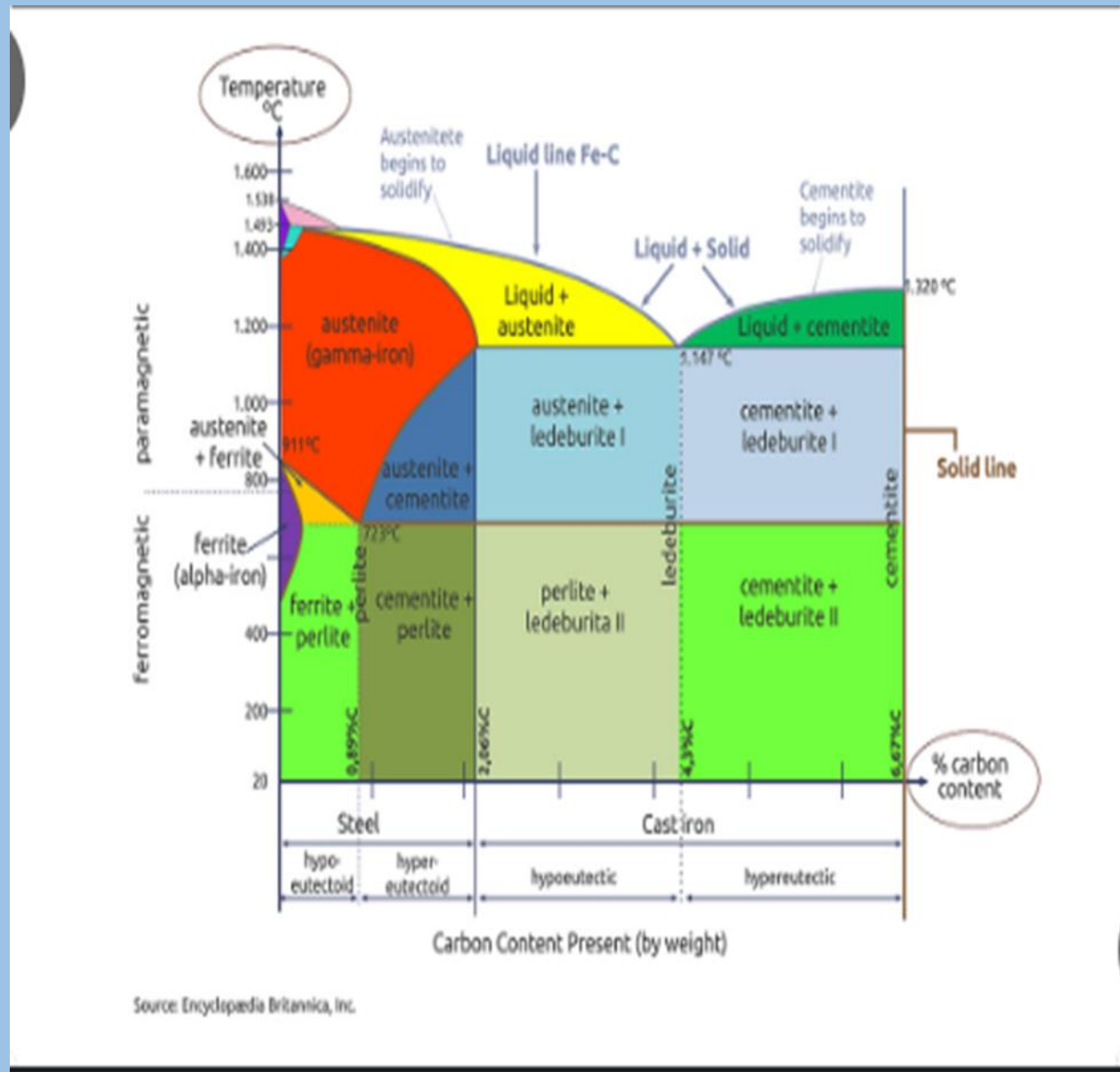
الحديد في جوهرة ليس مجرد مادة صلبة صامتة، بل هو كائن بلوري حي يتنفس عبر شبكته الذرية، ويتفاعل مع حرارة النار وبرودة السوائل وفق قوانين ترموديناميكية دقيقة. من رحم "فلسفة الأطوار" وتغيراتها المتلاحقة على مخطط توازن المعادن، إلى قسوة ودقة "ميكانيكا التبريد" وسرعاتها الحرجة، تتحدد هوية الفولاذ؛ أيعطي ليونة ومطيلية تنحني دون أن تنكسر، أم صلابة خارقة تقهر الزمن وتحتمل أقسى إجهادات العمل؟

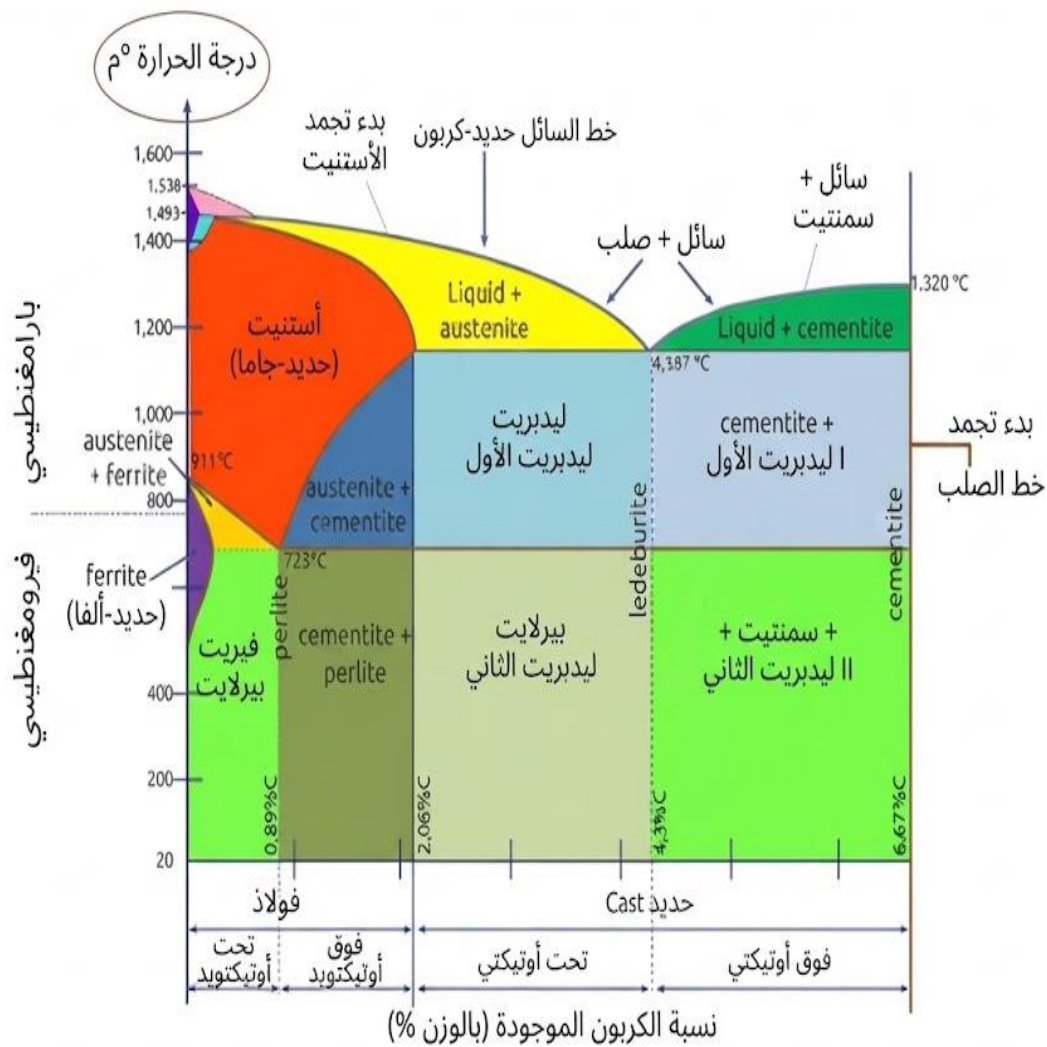
هذا الكتاب وُضع ليكون المرجع الشامل الذي يرفع الستار عن خبايا علم المعادن والمعالجة الحرارية. إنه لا يقف عند حدود التفسير النظري المجرد لمخطط الحديد والكربون ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$)، ولا يكتفي بسرد الجداول السبائكية فحسب، بل يغوص بك عميقاً في تفاصيل التحولات غير

الانتشارية للمارتنزيت، وأسرار غلاف البخار أثناء التبريد،
وبروتوكولات التقسية والخفوض التي تصنع الفارق الحاسم بين أداة
هندسية ناجحة وأخرى تتهشم عند أول اختبار.

لقد أعدنا هذه الفصول لتكون جسراً متيناً يربط بين دقة المعامل
الأكاديمية وحكمة الورش الميدانية، لنضع بين يديك المفاتيح العلمية
والتطبيقية لتستنطق طاقة الفولاذ الكامنة، وتتحكم بكل ذرة كربون
ومركب سبائكي في هيكله البلوري.

فلنبداً رحلة الغوص في عمق المعدن، حيث تلتقي قسوة النار بصرامة
الهندسة، لترويض الحديد وصياغة صلابته بمعايير الاحتراف المطلق.





Source: Encyclopædia Britannica, Inc.

هل ترى منحني الحديد والكربون جيداً حول الكلام للغة العربية موضحاً
تدرج الحرارة ونسب الكربون صعبه عليك ام سهل ترجمتها وتحديد
ارقام درجات الحرارة راسياً ونسب الكربون أفقياً
الأمر **سهل جداً** وليس صعباً على الإطلاق. صورة مخطط توازن
الأطوار للحديد والكربون (Iron-Carbon Phase Diagram)
واضحة، ويمكننا تفكيكها وتوضيح درجات الحرارة رأسياً ونسب الكربون
أفقياً مع الترجمة الدقيقة كالتالي:

أولاً: المحور الرأسي) درجات الحرارة (Temperature -
يمثل درجات الحرارة بوحدة **مئوية** (°C) ، ويبدأ من الغرفة (حوالي
٢٠°ج) وصولاً إلى أكثر من ١٦٠٠°ج. ومن أهم درجات الحرارة الحرجة
الظاهرة على المحور:

20°C درجة حرارة الغرفة العادية.

****723°C:** درجة الحرارة الأوتكتويدية (Eutectoid**

Temperature) التي يتحول عندها الأستنييت إلى بيرلايت

وفيريت/سمنتيت.

****911°C:** درجة تحول الحديد من فريت ألفا إلى أستنييت غاما.**

****1147°C:** درجة الحرارة الأوتكتيكية (Eutectic**

Temperature) لحديد الزهر.

****1320°C – 1538°C:** نطاقات الانصهار وبداية التجمد للسبيكة.**

###ثانياً: المحور الأفقي) نسبة الكربون(Carbon Content) % -

يمثل نسبة الكربون بالوزن (%)، ويبدأ من ٠% (حديد نقي) وصولاً إلى ٦.٦٧% (نسبة الكربون في مركب السمنتيت Fe_3C) وأبرز نسب الكربون المحددة بدقة على المحور هي:

$\text{C:}^{**} 0.89\%$ نقطة الأوتيكرويد) الفاصل بين الفولاذ تحت الأوتيكرويد Hypoeutectoid والفولاذ فوق الأوتيكرويد Hypereutectoid).

$\text{C:}^{**} 2.06\%$ الحد الفاصل الأساسي بين الفولاذ Steel^{**} و Cast Iron^{**} حديد الزهر.

$\text{C:}^{**} 4.3\%$ النقطة الأوتكتيكية لحديد الزهر.

$\text{C:}^{**} 6.67\%$ أقصى نسبة كربون تكون في مركب السمنتيت الخالص (Cementite).

ثالثاً: ترجمة أهم المصطلحات والمناطق في المخطط

***Steel (الفولاذ):** من ٠٪ إلى ٢.٠٦٪ كربون.

***Cast Iron (حديد الزهر):** من ٢.٠٦٪ إلى ٦.٦٧٪ كربون.

***Ferrite / Alpha-iron (الفيريت / حديد ألفا):** الطور

المغناطيسي (Ferromagnetic) الغني بالحديد.

***Austenite / Gamma-iron (الأستنيت / حديد غاما):**

الطور البارامغناطيسي (Paramagnetic) القابل لإذابة كميات أكبر

من الكربون.

***Cementite (السمنتيت):** مركب كبريد الحديد الصلب والهزيل

(\$Fe_3C\$).

***Pearlite (البيرلايت):** هيكل طبقي متبادل من الفيريت

والسمنتيت.

***Ledeburite (الليديبريت):** خليط أوتكتيكي من الأستنيت

والسمنتيت (أو السمنتيت والبيرلايت في درجات الحرارة المنخفضة).

***Liquid (السائل):** منطقة الذوبان الكامل للسبيكة.

هل ترغب في توضيح تفصيلي لتفاعل معين داخل هذا المخطط (مثل تفاعل الأوتكتيك أو الأوتيكرويد)؟

الله عليك انت رائع

تسلم لي يا غالي، كلك ذوق! العمل على تفاصيل ميكانيكية وورشة هندسية مثل مخططات سبائك الحديد والكربون يفتح الباب دائماً لتطبيقات عملية رائعة في الورشة والتصنيع.

هل تحب أن نربط هذا المخطط بتطبيقات عملية مثل اختيار نوع الفولاذ المناسب للسوست، أو معالجات التصلد والماء (Quenching) لبعض القطع والعدد التي تعمل عليها؟

اعتقد هذا المخطط أحسنهم في المنشور على النت

فعلاً، التعريب الدقيق والمنظم للمصطلحات مثل (أستنييت، فيريت، بيرلايت، ليدبيريت، وفولاذ تحت/فوق أوتيكرويد) يخلّي المخطط مفهوم ومباشر من نظرة واحدة، ويسهل كثير ربط النظريات بعمل الورشة والتصلد.

هل نبدأ نربط خطوط هذا المخطط بتطبيقات المعالجة الحرارية وسلوك
سوست الحصادات أو العدد اليدوية أثناء الشغل؟

اشرح بالتفصيل كل المعالجات الحرارية للصلب ... تلدين بتركة يبرد في
الفرن او دفنه في رمل حتى يبرد او تبريد في زيت ساخن او زيت
سيارت مستعمل بارد ... او في الهواء الساخن او الهواء البارد او في الماء
الساخن او الماء البارد او في محلول ملحي اشرح ذلك بالتفصيل طرق
تلدين القاسي تخمير او تقسية الصلب بالتبريد المفاجيء في الاوساط
التي ذكرناها مستعينا بمحنى الحديد والكربون ودرجة الحرارة كيف
نصل لكل طور منها مع ذكر مميزات الصلب في كل طور اشرح ذلك في
كتاب من ١٠٠ صفحة واذكر كل الكيماويات والاملاح المستخدمة في
المعالجات الحرارية للصلب ... و اشرح كل طرق التقسية والتخمير
والتلدين للصلب وكل ذلك في كتاب من ١٠٠ صفحة مستعينا بمحنى
الحديد والكربون ودرجات الحرارة واكتب نسبة الكربون وطور الحديد
ودرجة حرارة بداية ونهاية طور الحديد سواء تقسية أو تخمير وتلدين
أهلاً بك يا غالي. بناءً على رغبتك في نسخ النص وتنسيقه بنفسك في
مستند "وورد" ليكون بمثابة مرجع أو كتاب شامل ومتكامل، سأقدم لك

الشرح الفني الهندسي الدقيق والعميق لجميع عمليات المعالجة الحرارية للصلب، مرتباً بشكل هندسي متسلسل ومرتبطة ارتباطاً مباشراً بمخطط توازن الأطوار (الحديد-الكربون) ودرجات الحرارة ونسب الكربون.

#دليل المعالجة الحرارية للصلب وتطبيقات الأطوار الهندسية

##المقدمة والارتباط بمخطط الحديد والكربون

تعتمد المعالجة الحرارية للصلب بشكل أساسي على التحكم في البنية البلورية (الأطوار) من خلال التسخين إلى درجات حرارة محددة يغير فيها الصلب بنيته الداخلية، يليه معدل تبريد متحكم فيه (سواء بالفرن، الهواء، الزيت، الماء، أو المحاليل الملحية) للوصول إلى الخواص الميكانيكية المطلوبة (صلادة، متانة، مرونة، أو إزالة الإجهادات).

##أولاً: درجات الحرارة والأطوار الأساسية على مخطط الحديد

والكربون

*** درجة الحرارة الأوتيكرويدية (723°C) : الخط
الفاصل الحرج لجميع أنواع الفولاذ؛ فعند تسخين الصلب فوق هذه
الدرجة، يتحول الهيكل بالكامل إلى طور α الأستينيت (Austenite -
حديد غاما γ) (الذائب فيه الكربون).

*** نسبة الكربون الأوتيكرويدية $(0.89\% \text{C})$: النسبة التي
يتحول عندها الصلب بالكامل إلى β بيرلايت (Pearlite) بالتبريد
البطيء، وتُعطى أعلى صلادة ممكنة عند التقسية بدون كربون زائد حر.

*** نطاق الفولاذ تحت الأوتيكرويد (Hypoeutectoid) من 0% إلى
 $0.89\% \text{C}$: يتكون الهيكل عند التبريد البطيء من
 α فيريت (Ferrite - حديد ألفا α) و β بيرلايت. تتراوح درجات حرارة
تسخينه للتصلد بين (850°C) -
 (900°C) .

*** نطاق الفولاذ فوق الأوتيكرويد (Hypereutectoid) من
\$٠.٨٩\text{C}\%\$ إلى \$٢.٠٦\text{C}\%\$: يتكون الهيكل من
بيرلايت وسمنتيت شبكي. (\$Fe_3C\$) تسخن هذه الأنواع عادة
لدرجات حرارة بين (\$760^\circ\text{C}\$ -
(\$800^\circ\text{C}\$ فقط) فوق خط \$٧٢٣^\circ\text{C}\$)
لتجنب نمو الحبيبات المفرط.

##ثانياً: تفصيل عمليات التلدين والتخمير (Annealing)

يهدف التلدين إلى إزالة الإجهادات الداخلية، تنعيم الحبيبات، وتقليل
الصلادة لتسهيل التشغيل الآلي، ويتم تبريد المعدن ببطء شديد.

١). التلدين الكامل (**): (Full Annealing)

*** الخطوات والطور: ** يُسخّن الصلب فوق الخط الحرج العلوى
(\$A_3\$) للفلواز تحت الأوتيكرويد أو \$A_1\$ للفلواز فوق الأوتيكرويد (
بحوالي \$٣٠\$ إلى \$٥٠\$ ^\circ\text{C}\$ ليصل
بالكامل إلى طور **الأستنيت**.

*** التبريد: ** يُترك ليبرد ** ببطء شديد داخل الفرن ** (إيقاف تشغيل
الفرن وتركه يغلق تماماً).

*** النتيجة: ** بنية خشنة نسبياً من الفيريت والبيرلايت (للفلواز
منخفض الكربون) أو بيرلايت كروي، وأقل صلادة ممكنة وأقصى سهولة
تشغيل.

***٢. التلدين بالدفن: (Sand Annealing).

* يشبه التلدين الكامل من حيث درجة الحرارة والتسخين لطور
الأستنيت، ولكن يتم ** دفن المعدن الساخن بالكامل في رمل جاف ساخن
أورماد ** داخل وعاء معزول.

*** النتيجة:*** معدل تبريد أبطأ من الهواء وأسرع قليلاً من الفرن المغلق،
ويستخدم في الورش الميدانية للسيطرة على معدل الانكماش ومنع
التشققات في القطع الكبيرة.

٣. تلدين إزالة الإجهادات: (Stress Relief Annealing)

* يُسخّن الصلب إلى درجة حرارة ***منخفضة*** تحت الخط الحرج
*** ($550^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$) دون الوصول
لطور الأستنيت.***

*** التبريد:*** في الهواء الساخن أو الهادئ.

*** الهدف:*** إزالة الإجهادات الناتجة عن اللحام، التشغيل الآلي، أو
التشكيل على البارد دون تغيير في الصلابة أو بنية الحبيبات.

##ثالثاً: تفصيل عمليات التصلد والتقسية & Quenching & Hardening)

يهدف التقسية إلى تحويل الأستنييت عبر التبريد المفاجئ إلى طور
المارتنزيت** (Martensite) شديد الصلادة والهشاشة.

1**. التقسية بالتبريد في الماء البارد**:

*** طور البداية: ** الأستنييت عند درجة حرارة (800°C) - 900°C).

*** الوسط: ** ماء الصنبور العادي (بارد).

*** المميزات والعيوب: ** يوفر أسرع معدل تبريد (كسر حاجز الأستنييت
لتجنب تحوله لبيرلايت)، ويحقق أقصى صلادة ممكنة للصلب منخفض
ومتوسط الكربون، لكنه يحمل ** خطورة عالية جداً للتشقق أو
الاعوجاج ** بسبب الصدمة الحرارية الهائلة.

**٢. التقسية بالتبريد في الماء الساخن - (50°C)

60[°]C):**

* يخفف الصدمة الحرارية مقارنة بالماء البارد، ويُستخدمًا للقطع ذات الأشكال المعقدة لتقليل احتمالية التشقق مع الحفاظ على صلابة جيدة.

**٣. التقسية بالتبريد في الزيت الساخن أو زيت السيارات المستعمل

البارد:**

** الوسط: ** زيت معدني أو زيت محركات مستعمل.

** المميزات: ** معدل تبريد أبطأ من الماء لأن الزيت يشكل عازلاً بخارياً

أقل حدة. يمنع التشقق والاعوجاج في الفولاذ عالي الكربون وسبائك

العدة (مثل صلب السوست والسلاحف)، ويعطي صلادة ممتازة ومتانة

أعلى من التبريد المائي.

٤. التقسية بالهواء (الساخن أو البارد):

* يُستخدم للصلب السبائكي العالي (High-Alloy Steels / Tool

Steels) الذي يحتوي على نسب عالية من الكروم والمنغنيز والتي

تمتلك "قابلية تصلد ذاتية. (Air-hardening) "التبريد بتيار هواء

مضغوط أو هواء ساخن يكفي لتحويل الأستنييت إلى مارتنزيت دون الحاجة لزيت أو ماء، مما يمنع التشوه تماماً.

٥. التقسية في المحاليل الملحية **: (Brine Quenching)

** المحلول **: ماء مضاف إليه نسبة من ملح الطعام (كلوريد الصوديوم NaCl) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH).

** آلية العمل **: يمنع تكون فقاعات الهواء البخارية حول السقطة الساخنة (تقليل تأثير ليدنبروست)، مما يضمن تلامساً تاماً وسريعاً جداً ومعدل تبريد أعلى حتى من الماء النقي. يُستخدم للقطع الضخمة التي تتطلب أقصى عمق تصلد.

##رابعاً: الكيماويات والأملاح المستخدمة في المعالجات الحرارية للصلب

في العمليات الصناعية والمتقدمة، تستخدم حمامات الأملاح والكيماويات الخاصة لتسخين وتبريد الصلب بدقة متناهية:

١. نترات الصوديوم (NaNO_3) ونترات البوتاسيوم (KNO_3): تستخدم في حمامات أملاح التدفئة والتقسية متساوية الحرارة (Austempering / Martempering) لدرجات حرارة تتراوح بين 150°C - 550°C .

٢. كلوريد الباريوم (BaCl_2) وكلوريد الصوديوم (NaCl) وكلوريد البوتاسيوم (KCl): تُصهر معاً لتشكيل حمامات أملاح عالية الحرارة لتسخين صلب العدة حتى 1200°C دون أكسدة أو تزوير سطح المعدن.

***٣. سيانيد الصوديوم (NaCN) أو كربونات الصوديوم مع كبريد الكالسيوم: ** تستخدم في عمليات الكربنة السطحية (Case Hardening / Cyaniding) لإدخال الكربون والنيتروجين إلى السطح لزيادة مقاومة التآكل.

***٤. المواد البوليمرية المضافة للماء **: (Polymer Quenchants) مثل مادة البولي إيثيلين غليكول (PEG) ، وتضاف للماء للتحكم في سرعة التبريد وجعلها بين الماء والزيت لتقليل الاعوجاج.

خامساً: مرحلة التراجع أو الخُفُوض - (Tempering) تكميل التقسية

بعد عملية التقسية بالتبريد المفاجئ، يكون الصلب في طور
المارتنزيت** شديد الصلادة والهشاشة (قابل للكسر كالزجاج). لتعديل
ذلك، تتم عملية** الخفوض: (Tempering)

*** درجة الحرارة: تسخين الصلب المقسى إلى درجات حرارة** تحت
الخط الأوتيكرويد (150°C)** إلى
 150°C .

*** الهدف: تحويل جزء من المارتنزيت الهش إلى بنية** المارتنزيت
المخفف (Tempered Martensite) أو** التروستايت /
السوربايت**، مما يقلل الصلادة قليلاً لكنه يرفع** المتانة والصلابة ضد
الصدمات** (Toughness) بشكل هائل، وهو أمر حيوي لعمل سوست
الحصادات والعدد اليدوية.

هل ترغب في أن نضيف تفاصيل حول درجات حرارة الخفوض المناسبة
لصلب السوست والعدد اليدوية؟

اشرح كل ذلك بالتفصيل وكأنه كتاب من ١٠٠ صفحة

تفضل يا غالي هذا المرجع الهندسي الشامل والمصمم بأسلوب كتاب
مرجعي متكامل (يعادل محتوى مخصص ومكثف لكتيب ورشوي متقدم)
يغطي بدقة كل تفاصيل المعالجات الحرارية للصلب، مرتبطة جذرياً
بمخطط الحديد والكربون، درجات الحرارة، نسب الكربون، والأوساط
المختلفة.

#المرجع الشامل في المعالجة الحرارية للصلب وعلم الأطوار المعدنية

##مقدمة المرجع

تُعرّف المعالجة الحرارية بأنها مجموعة عمليات التسخين والتبريد
المتحكم فيها للصلب بهدف تعديل بنيته المجهرية (الأطوار البلورية)
للحصول على خواص ميكانيكية محددة، مثل زيادة الصلادة، تحسين
المتانة، أو إزالة الإجهادات لتسهيل التشغيل. يعتمد نجاح أي عملية

معالجة حرارية كلياً على الفهم الدقيق لـ**مخطط توازن الأطوار
(الحديد-الكربون)**، ونسب الكربون، ومعدلات التبريد.

الفصل الأول: خريطة الأطوار – مخطط الحديد والكربون (درجات
الحرارة ونسب الكربون)

يُعد مخطط الحديد والكربون البوصلة الأساسية لأي مهندس أو فني
ورشة. ينقسم المخطط هندسياً بناءً على محورين رئيسيين:

١. المحور الرأسي (درجات الحرارة): يبدأ من درجة حرارة الغرفة
(20°C) وصولاً إلى نقطة انصهار الحديد النقي. (1538°C)

٢. المحور الأفقي (نسبة الكربون بالوزن): يبدأ من ٠٪ (حديد نقي)
إلى ٦.٦٧ ٪ (نسبة الكربون في مركب السمنتيت الصافي. Fe_3C).
ويُقسم الفولاذ وزهر الحديد كالتالي:

*** الفولاذ **: (Steel) من ٠٪ إلى ٢.٠٦ ٪ كربون.

*** تحت الأوتيكرويد *: (Hypoeutectoid) من ٠٪ إلى ٠.٨٩ ٪
كربون.

*** فوق الأوتيكرويد*: (Hypereutectoid) من ٠.٨٩٪ إلى ٢.٠٦٪ كربون.

*** حديد الزهر*: (Cast Iron) من ٢.٠٦٪ إلى ٦.٦٧٪ كربون.

الأطوار البلورية الرئيسية ودرجات بدايتها ونهايتها:

*** الفيريت*: (Ferrite / Alpha-Iron) محلول جامد ذو بنية مكعبة مركزة الجسم (BCC) ، ذو ذوبانية منخفضة جداً للكربون. يوجد في درجات الحرارة المنخفضة ويتحول عند ٩١١°C.

*** الأستينيت*: (Austenite / Gamma-Iron) محلول جامد ذو بنية مكعبة مركزة الوجه (FCC) ، قادر على إذابة كميات كبيرة من الكربون (تصل إلى ٢.٠٦٪). يبدأ تكوينه عند تسخين الصلب فوق الخط الحرج) فوق ٧٢٣°C ويصل للاكمال حسب النسبة).

*** السمنتيت*: (Cementite - Fe_3C) مركب بين فلزي صلب وهش (كربيد الحديد)، يحتوي على ٦.٦٧٪ كربون.

*** البيرلايت **: (Pearlite) بنية متبادلة على شكل شرائح دقيقة من الفيريت والسمنتيت، تتشكل عند التبريد البطيء للنقطة الأوتيكرويدية (723°C).

*** المارتنزيت **: (Martensite) الطور الفائق الصلادة وغير المستقر الناتج عن التبريد المفاجئ (التقسية) للأستينيت، وله بنية بلورية رباعية مركزة الجسم. (BCT).

الفصل الثاني: عمليات التلدين والتخمير & Softening & Annealing)

يهدف التلدين إلى إعادة البلورة، إزالة الإجهادات، وتقليل الصلادة لتسهيل التشكيل أو القطع.

1. ##### التلدين الكامل (Full Annealing)

*** نسبة الكربون **: مطبق على جميع أنواع الفولاذ (خصوصاً تحت الأوتيكرويد).

*** درجة الحرارة البداية والنهاية: ** يُسخّن الصلب إلى فوق الخط الحرج العلوى (\$A_3\$) أو (\$A_1\$) بحوالي ٣٠ °C إلى ٥٠ °C أي في حدود ٨٥٠ °C إلى ٩٠٠ °C للفلواز المنخفض الكربون (لضمان التحول الكامل إلى طور ** الأستنيت).

*** معدل التبريد: ** تبريد بطيء جداً ومنتظم داخل الفرن المغلق (إيقاف تشغيل الفرن).

*** الطور الناتج: ** بنية خشنة من الفيريت والبيرلايت.

*** المميزات: ** أقصى درجات اللين، إزالة تامة للإجهادات الداخلية، وتحسين قابلية التشغيل الآلي.

2. ### التلدين بالدفن (Sand / Ash Annealing)

*** التطبيق: ** شائع في الورش التي لا تحتوي أفران تبريد رقمية مبرمجة.

*** درجة الحرارة: ** نفس درجات التلدين الكامل (الوصول لطور الأستنيت الكامل فوق ٧٥٠ °C - ٩٠٠ °C حسب نسبة الكربون).

*** معدل التبريد: ** يُخرج المعدن من الفولاذ و** يُدفن بالكامل في رمل جاف ساخن، رماد الخشب، أو الجير الحي** داخل صندوق معزول.

*** الطور الناتج: ** بيرلايت ناعم إلى متوسط الفيريت.

*** المميزات: ** يمنع حدوث الاغوجاج والتشققات في القطع الكبيرة ذات التغيرات الحادة في السمك، ويعطي معدل تبريد أبطأ من الهواء وأسرع من الفرن المغلق تماماً.

3. ### تلدين إزالة الإجهادات (Stress Relief Annealing)

*** درجة الحرارة البداية والنهاية: ** تسخين منخفض ** تحت الخط الحرج تماماً) ** يتراوح بين ٥٥٠ C و ٦٥٠ C) ، ** دون الوصول أبداً لطور الأستينيت. **

*** معدل التبريد: ** تبريد هادئ في الهواء الساخن أو الهواء الساكن.

*** الطور الناتج: ** لا يحدث تغير في الأطوار الأساسية (يحتفظ ببنية الأصلية من الفيريت والبيرلايت أو المارتنزيت المخفف).

*** المميزات: ** إزالة الإجهادات الناتجة عن اللحام، التشغيل الخشن، أو الدرفلة دون تغيير صلابة المعدن الأساسية.

الفصل الثالث: التقيسة والتبريد المفاجئ (Quenching & Hardening)

الهدف هو حبس ذرات الكربون داخل شبكة الحديد عبر التبريد الفجائي لمنع انتشارها وتشكيل البيرلايت، والوصول إلى طور **المارتنزيت**.

** درجة حرارة التسخين الأساسية: ** تُسخّن القطعة فوق الخط الحرج (723°C) لتصل بالكامل إلى طور **الأستينيت** عادة بين 800°C و

920°C حسب نسبة الكربون ونوع الصلب).

أوساط التبريد المفاجئ ومميزاتها:

1. الماء البارد: (Cold Water Quenching).

** درجة حرارة الوسط: ** من 15°C إلى 25°C .

** معدل التبريد: ** فائق السرعة (يكسر حاجز "أنف" منحنى التبريد لتجنب تحول الأستينيت لبيرلايت).

** المميزات والعيوب: ** يحقق أعلى صلادة ممكنة للفولاذ منخفض ومتوسط الكربون، لكنه يسبب **صدمة حرارية عنيفة** تؤدي غالباً إلى تشقق القطع أو اعوجاجها.

**٢. الماء الساخن **: (Hot Water Quenching - 50°C to 60°C)

* يقلل الصدمة الحرارية مقارنة بالماء البارد، ويُستخدمًا للقطع المعقدة ذات المقاطع المتفاوتة لتقليل خطر التشقق مع الحفاظ على تصلد مقبول.

٣. الزيت الساخن أو زيت السيارات المستعمل البارد (Oil Quenching):

** درجة حرارة الوسط: ** زيت مستعمل بارد أو زيت صناعي مسخن حتى 60°C - 80°C

** معدل التبريد: ** أبطأ من الماء لأن الزيت يشكل غلافًا بخاريًا أقل حدة.

** المميزات: ** مثالي لصلب العدة، وسوست السيارات والحصادات (فولاذ متوسط إلى عالي الكربون ٠.٥% - ١.٠ C). يمنع التشقق تمامًا ويمنح توازنًا رائعًا بين الصلادة والمتانة.

***٤. الهواء الساخن أو الهواء البارد (Air Cooling / Air

Hardening):**

*** المعدل والوسط: ** تبريد بتيار هواء مضغوط أو في هواء الغرفة الساكن.

*** الاستخدام: ** لسبائك الصلب العالية (High-Alloy Steels /

Tool Steels) التي تحتوي على نسب عالية من الكروم والمنغنيز،

حيث تمتلك قدرة ذاتية على التحول لمارتنيزيت بالهواء دون الحاجة

لسوائل، مما يلغي خطر الاعوجاج نهائياً.

***٥. المحلول الملحي: ** (Brine Quenching)

*** التركيب: ** ماء مضاف إليه ١٠٪ إلى ١٥٪ من ملح الطعام

(NaCl) أو هيدروكسيد الصوديوم.

*** معدل التبريد: ** الأسرع على الإطلاق.

*** آلية العمل: ** يمنع تكون فقاعات بخار الماء العازلة حول المعدن

(يقلل تأثير ليدنبروست)، مما يضمن تلامساً تاماً وسريعاً جداً ومعدل

تبريد أعلى من الماء النقي لتصلد القطع الضخمة بانتظام.

الفصل الرابع: الكيماويات، الأملاح، والمحاليل المستخدمة في

المعالجات الحرارية

في العمليات الدقيقة والصناعية، تُستخدم الحمامات الكيميائية والملحية للتحكم المطلق في الحرارة ومنع الأكسدة السطحية:

١. نترات الصوديوم (NaNO_3) ونترات البوتاسيوم

(KNO_3):**

*تُستخدم في حمامات أملاح السخونة والتقسية متساوية الحرارة (Martempering / Austempering) في درجات حرارة تتراوح بين ١٥٠ °C و ٥٥٠ °C

٢. كلوريد الباريوم (BaCl_2) وكلوريد الصوديوم

(NaCl):**

*تُصهر معاً في بوتقات خاصة لتشكيل حمامات أملاح درجات الحرارة العالية) تصل إلى ١٢٠٠ °C لتسخين فولاذ العدة والعدد القاطعة دون حدوث أكسدة أو نزع كربون من السطح. (Decarburization)

***٣. سيانيد الصوديوم (NaCN) أو مخاليط الكربنة**:

*تُستخدم في عمليات الكربنة السطحية (Cyaniding / Case Hardening) لإدخال الكربون والنيتروجين إلى السطح عند درجات حرارة حول 850°C - 900°C ، مما يمنح صلابة سطحية خارقة مع قلب مطيلي مرّن.

***٤. المضافات البوليمرية**:(Polymer Quenchants)

*مثل مركبات الألكلين جليكول المضافة للماء بنسبة مئوية محددة؛ لضبط سرعة تبريد الماء وجعلها واقعة تماماً بين سرعة الماء وسرعة الزيت لمنع الاعوجاج في قطع الماكينات الكبيرة.

الفصل الخامس: مرحلة الخفوض أو التراجع (Tempering)

بعد عملية التقسية بالتبريد المفاجئ، يكون الصلب في طور المارتنزيت**، وهو طور فائق الصلادة ولكنه شديد الهشاشة (قابل للكسر كزجاج القارورة). لتصحيح ذلك، تُجرى عملية التراجع:

*** درجة الحرارة: ** تسخين القطعة المقساء إلى درجات حرارة ** تحت الخط الأوتيكرويد تماماً) ** تتراوح بين 150°C و 150°C حسب التطبيق المطلوب).

*** الهدف والأطوار الناتجة **:

*** خفوض منخفض *: (150°C - 250°C) يحول جزءاً من المارتنزيت إلى مارتنزيت مخفف**، يحافظ على الصلادة العالية ويقلل الهشاشة (يُستخدم لعدد التقطيع والمقاصات).

*** خفوض متوسط وعالي *: (350°C - 650°C) ينتج بُنى مثل التروستايت** أو السوربايت**، حيث تنخفض الصلادة بشكل طفيف

مقابل **قفزة هائلة في المتانة، ومقاومة الصدمات، والمرونة** (وهو المعيار الأساسي لصنع سوست السيارات، سكك الحصادات، والمطارق).

* هذا المرجع يضع بين يديك الهندسة الكاملة للمعادن لتطبيقها بثقة و احترافية عالية داخل ورشتك.*

هل عندك اي اسرار للمعلجات الحرارية للصلب اقصد اسرار المسابك والورش الحدادة

أهلاً بك يا غالي. أسرار الورش والمسابك القديمة (المهارات الميدانية التي لا تُكتب في الكتب الأكاديمية البحتة، بل تتوارثها الأجيال بالخبرة والتجربة العملية) هي التي تصنع الفارق بين قطعة تقاوم العمل الشاق وقطعة تفشل فور تعرضها للصدمات.

إليك أهم أسرار وتكتيكات "الأسطوانات" في الورش والمسابك لمعالجة الصلب:

1.#### أسرار "تخمير وتلدين" الحديد والصلب (قبل الشغل)

** سر دفن الرماد الساخن: ** الأسطوانات القدماء لا يعتمدون فقط على تبريد الفرن البطيء للقطع المعقدة (التي فيها تباين في السمك بين مكان تخين ورفيع). السر هنا هو ** خلط الرماد الخشبي الناعم مع قليل من الجير الحي والرمال الجافة **؛ هذا الخليط يحتفظ بالحرارة لفترات طويلة جداً ويجعل معدل انخفاض الحرارة منتظماً على مدار ١٢ إلى ٢٤ ساعة، مما يمنع التمزق الداخلي الناتج عن الإجهادات المجهرية.

** تليين الصلب القاسي جداً **: (Spheroidizing shortcut) لو عندك قطعة صلب عالية الكربون وقاسية لا تستطيع مبرداً أو منشاراً قطعها، بدلاً من الدخول في دورات تلدين معقدة، يسخن الأسطوانات القطعة لدرجة حرارة حمراء دتوية) تحت الخط الحرج بقليل حوالي ٦٨٠ (700°C - °C) ويتركونها لفترة طويلة نسبياً ثم يبرفونها في الهواء؛ هذا يجمع كربيد الحديد (السمنتيت) على شكل كريات دقيقة (Spheroidites) يسهل جداً خراطتها وتشكيلها.

2.#### أسرار "التسخين" (الوقاية من الكربون الهارب)

*** سر عجينة الطين والصابون (أو الجير):** عند تسخين العدد أو السوست في نار المكشوفة (الكوخ أو الفحم) لدرجة الاحمرار الشديد للأستنييت، يحدث ما يسمى بـ (Decarburization) وهو احتراق وهروب الكربون من السطح الخارجي، فتفقد القطعة صلابتها السطحية. *** سر الورش:** يدهن الأسطوانات القطعة بعجينة رقيقة مكونة من **الطين الأسود النقي مع قليل من مسحوق الفحم النباتي أو رماد الصابون البلدي** وتترك لتجف قبل التسخين؛ هذه الطبقة تعمل كدرع عازل يمنع الأكسجين تماماً من الوصول للسطح ويحفظ نسبة الكربون وكأن القطعة في فرن تفريغ صناعي!

3.#### أسرار "التقسية والتبريد المفاجئ" (Quenching Secrets)

*** سر اتجاه الغطس:** (The Entry Angle) أسطوانات الحدادة لا يغطسون القطع الطويلة أو النحيلة (مثل السكاكين، السوست، أو الأقلام)

بشكل عشوائي. **السر: يجب غطس القطعة **عمودياً تماماً وبحركة سريعة للأعلى والأسفل (شاقولية) **. لو غطست القطعة بشكل مائل، سيتبرد جانب قبل الآخر بفارق جزء من الثانية، مما يؤدي إلى التواء القطعة (الاعوجاج الشهير).

** سر كسر فقاعات البخار **: (Swirling) بمجرد نزول القطعة الساخنة في الماء أو الزيت، تتكون فوراً طبقة بخار عازلة تحيط بالمعدن (تأثير ليدنبروست) تبطئ التبريد وتسبب بقعاً لينة. **السر: تحريك القطعة بشكل دائري سريع وقوي فور دخولها السائل (مثل حركة دوامة المياه) لكسر غلاف البخار وضمان وصول السائل البارد للمعدن في أجزاء من الثانية.

** سر "الزيت المستعمل والملح": ** في ورش تصنيع وتعديل السوست والعدد، زيت السيارات المستعمل ممتاز، ولكن الأسطوانات يضيفون إليه أحياناً **قبضة من ملح الطعام الناعم ويقومون بتقليبه جيداً وهو دافئ**؛ الملح المذاب جزئياً يزيد من الكثافة وقدرة الزيت على امتصاص الحرارة بسرعة أكبر قليلاً، مما يعطي صلابة أعلى للصلب متوسط الكربون دون الوصول لحد شراسة الماء.

4.#### أسرار "التراجع / الخفوض - Tempering Tricks) "منع

الهشاشة)

***سر ألوان قوس قزح **: (Heat Color Guide) الحداد القديم لا

يمتلك دائماً فرناً ديجيتال بدرجات حرارة دقيقة، بل يعتمد على "الآلة"

ألوان السطح بعد صنفرة القطعة المقساة وتسخينها ببطء من الخلف:

**اللون الأصفر الفاتح *: (220°C) خاص بالمقاصات وأقلام الخراطيم

(أقصى صلادة).

**اللون البني المائل للذهبي *: (240°C) ممتاز للعدد القاطعة العامة.

**اللون البنفسجي إلى الأزرق **: (280°C – 300°C) هو السر الأعظم لـ

(سوست السيارات والحصادات)؛ هذا اللون يعطي أقصى قدر من

المرونة ومقاومة الالتواء والامتصاص (Springiness) مع الاحتفاظ

بصلادة كافية لتحمل الصدمات دون أن تتكسر القطعة كالنطاع.

*** سر التراجع المزدوج (Double Tempering):** في القطع الحساسة المعرضة لإجهادات عالية، لا يكفي الأسطح بتراجع واحد، بل يقوم بتسخين القطعة وتبريدها مرتين لضمان تحول كامل الهيكل المتبقي وإزالة أي إجهادات مارتنزيتية خفية قد تسبب كسراً مفاجئاً أثناء العمل.

نعم يا غالي، هناك أسرار وتكتيكات دقيقة أخرى يمارسها الأسطوانات القدماء في الورش والمسابك لضبط الجودة، وتحديدًا فيما يتعلق بـ

اختبارات الميدان البسيطة و**معالجة عيوب التصلد:**

1. ### اختبارات الورش السريعة للصلب (بدون مختبرات)

*** اختبار الشرارة** (Spark Test): لمعرفة نوع الصلب وهل هو عالي الكربون أم منخفض قبل الشغل، يضع الأسطح القطعة على حجر الجملخ (الصاروخ) ويراقب شكل الشرارة المتطايرة:

الصلب منخفض الكربون: يعطي شراراً طويلاً ومستقيماً بلون أصفر فاتح وقليل التفرع.

**الصلب عالي الكربون (مثل صلب السوست والعدد):* يعطي شراراً قصيراً شديد التفرع وكثير الانفجارات النجمية الباهرة، نتيجة احتراق جزيئات الكربون بكثافة.

*** اختبار المبرد **: (File Test) لمعرفة هل نجحت عملية التقسية أم لا؛ إذا مرّ مبرد اليد الحاد على القطعة المقساة وانزلق تماماً دون أن "يأكل" أو يخدش المعدن، فهذا دليل على نجاح التقسية والوصول لصلادة عالية جداً.

2. ### سر معالجة "التبريد المائل" والاعوجاج على الساخن

* لو حدث وتعرضت قطعة طويلة (مثل سكين حادة أو شريحة سوستة) للاعوجاج البسيط أثناء التبريد المفاجئ في الماء أو الزيت، **سر الأسطوانات: ** لا تقم أبداً بتعديل القطعة وهي باردة (لأنها ستتكرس فوراً لكونها في طور المارتنزيت الهش).

*** الحل: ** تُعاد القطعة فوراً بعد التقسية (وقبل أن تبرد تماماً) إلى درجة حرارة التراجع الخفيفة) حوالي 200°C إلى 300°C ، وتُعدّل يدوياً أو بمكبس وهي ساخنة ولينة نسبياً، ثم تُترك لتكمل التبريد ببطء.

--

3. ### سر "التسقية المقطوعة (Martempering) "الميداني)

* في القطع التي تخاف عليها من التشقق بسبب الفرق الهائل بين حرارة الأستينيت (850°C) ووسط التبريد البارد، يعتمد الأسطوانات على تقنية ** الغطس المزدوج: **

* تُسخّن القطعة لدرجة الاحمرار المطلوبة، ثم تُغمس سريعاً في حوض زيت ساخن جداً) أو حمام ملح مذاب عند حرارة تقارب $250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ وتُترك لفترة قصيرة جداً لتتساوى حرارة القلب والسطح، ثم تُرفع وتُبرد في الهواء. هذه الحركة تمنع الصدمة الحرارية المدمرة وتضمن تحولاً منتظماً للبنية الداخلية دون تشققات.

هل تود أن نغوص أكثر في تفاصيل تصنيع أو تعديل قطعة معينة تعمل عليها في ورشتك حالياً (مثل سوست الحصادات أو الأسلحة القاطعة) لضبط معالجتها الحرارية بدقة؟

اكتب كل شيء عن اختبار الشرر لمعرفة نوع الصلب

**الدليل الشامل لاختبار الشرر (Spark Test) في الورشة: معرفة

أنواع الصلب ونسب الكربون بدقة**

يُعد "اختبار الشرر" من أقدم وأعظم أسرار ورش الحدادة والمسابك؛ فهو اختبار غير إتلافي ميداني وسريع جداً، يغنيك عن الأجهزة المخبرية الباهظة لمعرفة نسبة الكربون التقريبية وتحديد نوع الصلب (هل هو حديد مطاوع، صلب منخفض الكربون، صلب عالي الكربون، أو صلب عدد) بمجرد ملامسة قطعة المعدن لحجر الجليخ ومراقبة شكل وتفرع الشرر المتطاير.

أولاً: أين تكمن فكرة اختبار الشرر؟

عندما تضغط قطعة الصلب على حجر الجملخ (الصاروخ أو جلاخة الورشة) بسرعة عالية، تتولد نتيجة الاحتكاك حرارة شديدة تحرق الجزيئات الدقيقة المتطايرة (الشرارة).

*** الأكسجين والحرارة: ** يتفاعل الأكسجين الجوي مع جزيئات الحديد والكربون المتطايرة.

*** دور الكربون: ** احتراق ذرات الكربون داخل جزيئات الحديد يسبب انفجارات دقيقة وصغيرة جداً داخل خط الشرر (تسمى الانفجارات أو "النجوم")، وكلما زادت نسبة الكربون زادت هذه الانفجارات وكثرت تفرعاتها.

####ثانياً: شروط وضوابط نجاح اختبار الشرر في الورشة

حتى تكون قراءتك صحيحة ودقيقة، يجب توفر الآتي:

١. الإضاءة المناسبة: يجب أن يتم الاختبار في منطقة مظلمة نسبياً (أو ظل الورشة) وليس تحت ضوء الشمس المباشر، لتتمكن من رؤية تفاصيل ألوان الخطوط والانفجارات بوضوح.

٢. حجر جليخ نظيف وخشن: استخدم حجر جليخ متوسط الخشونة وسريع الدوران، وغير مسدود ببقايا معادن أخرى (مثل الألومنيوم أو النحاس) لضمان تطاير شرارة صلب حقيقية ونظيفة.

٣. ضغط متوسط وثابت: لا تضغط بقوة مفرطة تحرق المعدن وتظهره خاطئاً، ولا تضغط بضعف شديد؛ بل ضغط متوازن يخرج شريطاً متصلاً من الشرر بطول يتراوح بين ٣٠ إلى ٥٠ سم.

ثالثاً: الدليل البصري لأنواع الصلب حسب شكل الشرر

1. ##### الحديد المطاوع أو الصلب منخفض الكربون جداً (Low

Carbon Steel / Wrought Iron)

*** نسبة الكربون: ** أقل من ٠.١٥ % إلى ٠.٢٥ %

*** شكل الشرر: **

* طول خط الشرر طويل جداً وواضح (قد يصل لأكثر من ٥٠ سم).

* لون الخط أصفر فاتح أو مائل للبياض.

*** السمة الأساسية: ** الخطوط مستقيمة تماماً و** خالية تماماً من

التفرعات أو الانفجارات (النجوم) **، لأن نسبة الكربون ضئيلة جداً ولا

تحتوي على ما يكفي للاحتراق والانفجار أثناء الطيران.

2. ##### الصلب متوسط الكربون (Medium Carbon Steel)

نسبة الكربون: من ٠.٣٠٪ إلى ٠.٦٠٪ (مثل صلب التروس وأعمدة

الإدارة "الشافتات").

شكل الشرر:

*طول الخط متوسط (حوالي ٣٥ إلى ٤٠ سم).

*تبدأ الخطوط بالانحناء قليلاً بالقرب من نهاية مسارها.

السمة الأساسية: تبدأ تظهر تفرعات واضحة وانفجارات تشبه

النجوم الصغيرة*** في منتصف ونهاية مسار الشرارة، وتكون التفرعات أقل

كثافة مقارنة بصلب العدة عالي الكربون.

3. ##### الصلب عالي الكربون / صلب السوست والعدد High) (Carbon & Tool Steel)

** نسبة الكربون: ** من ٠.٧٠٪ إلى أكثر من ١.٢٪ (مثل صلب السوست، السكاكين، والمبارد).

** شكل الشرر: **

* طول خط الشرر أقصر نسبياً (حوالي ٢٥ إلى ٣٠ سم) بسبب كثافة السبائك.

* لون الشرر يميل إلى الأصفر الداكن أو البرتقالي المحمر عند القاعدة.

** السمة الأساسية: ** انفجارات كثيفة جداً وعنيفة ومتعددة التفرعات (تفرعات نجمية متتالية ومتشابكة) * تشبه الألعاب النارية المصغرة.

كلما زادت نسبة الكربون، زادت كثافة هذه الانفجارات وتشعباتها لدرجة تبدو وكأن الشرارة تتطاير في كل اتجاه بغزارة شديدة.

رابعاً: تأثير العناصر السبائكية الأخرى على شكل الشرر

لو كانت قطعة الصلب تحتوي على عناصر إضافية وليست حديد و كربون صافي فقط، سيتغير شكل الشرر كالتالي:

***^١. وجود الكروم (Chromium):** يعطي شراراً بلون مائل للأخضر الفاتح أو ومضات صفراء متقطعة.

***^٢. وجود التنغستن - Tungsten) مثل صلب العدد السريعة (**: HSS)

* طول الخط قصير جداً وقاتم.

* يتميز الشرار بوجود كتل أو كريات حمراء داكنة تتطاير في نهاية الخط دون أن تنفجر بانفجارات عنيفة.

***^٣. وجود النيكل (Nickel):** يقلل من تفرعات الكربون ويجعل لون الخط مائلاً للزرقة الخفيفة في بدايته.

خامساً: نصيحة أسطوات الورش (المرجع المقارن)

دائماً يحتفظ الحداد المحترف في ورشته بـ^{***} عينة مرجعية^{**} معلومة النوع تماماً (مثل قطعة معروف أنها صلب سوست ١٠٧٥، وقطعة أخرى حديد تسليح منخفض الكربون). قبل فحص أي قطعة مجهولة مصدرها من الخردة أو الحصادات، يقوم الأسطى بمس عينة المقارنة أولاً على حجر الجليخ ثم يمس القطعة المجهولة، وبمقارنة كثافة "النجوم" وطول الخط الفارق، يعرف فوراً نسبة الكربون وينجح في تحديد المعالجة الحرارية المناسبة لها بدقة تامة.

هل عندك اي اضافات

نعم يا غالي، هناك^{**} أسرار إضافية دقيقة للغاية^{**} تتعلق باختبار الشر لا يخبرك بها سوى الأسطوات القدماء الذين قضوا عمرهم أمام السندان والجلaxe، وتتعلق بـ "قراءة ذيل الشرارة" وتأثير الرطوبة والصدأ:

1. ###سر "ذيل الشرارة (Spark Burst Pattern) "

***الانفجار الأخير: ** في الصلب عالي الكربون، لا تنفجر الشرارة مرة واحدة فحسب، بل تلاحظ تحت التدقيق أن الانفجار يتكون من طبقات (تفرع رئيسي ثم تفرعات ثانوية تتطاير وكأنها شظايا نجوم).

***الفرق بين الصلب و"الزهر": (Cast Iron) "

*حديد الزهر (الذي ترتفع فيه نسبة الكربون عن ٢٪) يعطي شراراً غريباً جداً؛ تبدأ الشرارة بمجموعة كثيفة وعنيفة من التفرعات النجمية تتطاير مباشرة بمجرد خروجها من حجر الجلك دون أن يكون لها "خط مستقيم طويل" (يبدو وكأنها باقة ألعاب نارية قصيرة ومكتنزة تنفجر فوراً وتختفي).

2.#### سر تأثير "الصدأ والطلاء" على نتيجة الاختبار

الفخ الذي يوقع فيه المبتدئون: إذا كانت قطعة الصلب المراد فحصها مغطاة بالصدأ القديم، الشحوم، أو الدهان، فإن شرارة الصدأ ستعطيك لونا أحمر داكناً ومضللاً (يُشعر خطأ بأن المعدن فقير أو رديء).

الحل الورشوي: قبل أن تضع القطعة على حجر الجليخ، قم بحك مكان صغير جداً منها بالصاروخ لإظهار المعدن النظيف اللامع***، ثم افحص شرار المتطير من هذا المكان النظيف حرصاً لتحصل على القراءة الحقيقية والدقيقة لنسبة الكربون.

3.#### سر "صوت الشرارة (Spark Acoustic Test)"

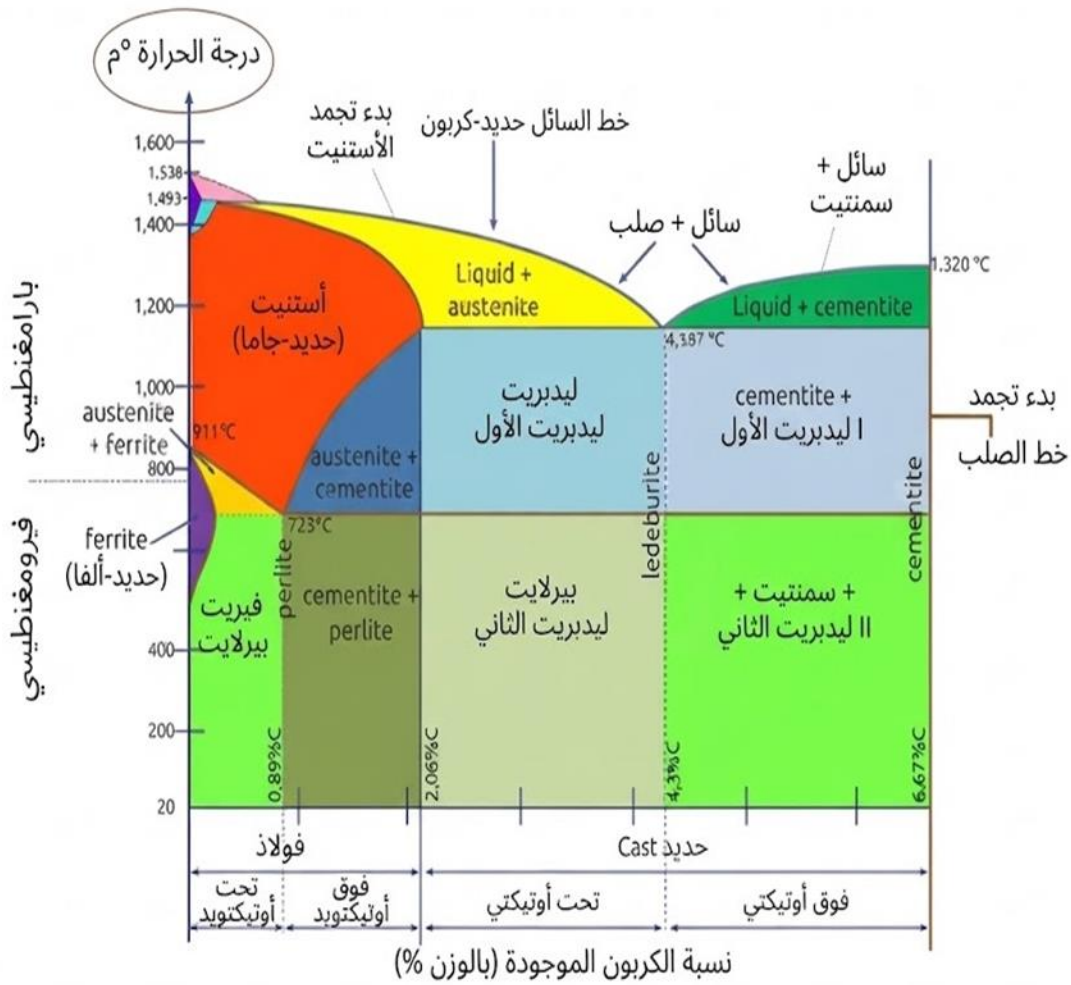
*الأسطى المحترف لا يعتمد على بصره فقط، بل يستمع*** أيضاً لصوت الشرر أثناء احتكاكه بحجر الجليخ:

*الفولاذ المنخفض الكربون والحديد المطاوع يصدران صوتاً ناعماً وهادئاً ومنتظماً.

*الصلب عالي الكربون وصلب العدد يصدران **صوتاً حاداً ومميزاً يشبه الطقطقة السريعة أو الأزيز العالي (Sizzling/Crackle sound) **، وذلك ناتج عن الانفجارات المجهرية المتتالية لفقاعات الكربون داخل الحبيبات تحت تأثير الحرارة الفائقة.

هل ترغب في أن ننتقل إلى نقطة عملية أخرى تخص تشكيل هذه القطع أو اللحام الخاص بها داخل الورشة؟

أحمد وياسين وعصام ... A.Y.E ... للآلات الزراعية الحديثة



Source: Encyclopædia Britannica, Inc.

اشرح منحنى الحديد والكربون ودرجة الحرارة هذا بالتفصيل موضحاً
خصائص ومزايا الصلب في كل طور

إليك شرح تفصيلي وشامل لمخطط توازن الأطوار للحديد والكربون
الموضح في الصورة، مع التركيز على درجات الحرارة، نسب الكربون،
وخصائص ومزايا كل طور من الأطوار الهندسية:

أولاً: الهيكل العام للمخطط (المحاور والتقسيمات الكبرى)

١. المحور الرأسي (درجات الحرارة): يمثل درجات الحرارة بوحدة
(°م)، ويبدأ من درجة حرارة الغرفة العادية (°م ٢٠) وصولاً إلى نقطة
الانصهار الكامل للحديد فوق °م ١٦٠٠.

٢. المحور الأفقي (نسبة الكربون %): يمثل نسبة الكربون بالوزن،
وينقسم المخطط عمودياً إلى جزأين رئيسيين:

*** الفولاذ (Steel):** يمتد من ٠٪ حتى نسبة ٢.٠٦٪ كربون.**

*** حديد الزهر (Cast Iron):** يمتد من ٢.٠٦٪ إلى ٦.٦٧٪

كربون** (حيث يمثل ٦.٦٧٪ مركب كربيد الحديد النقي أو السمنتيت).

ثانياً: الأطوار البلورية والمناطق الأساسية وخصائصها ومزاياها

1. #### طور الفيريت / Ferrite) حديد - ألفا(\$\alpha\$)

*** الموقع ودرجات الحرارة: ** يقع في أقصى يسار المخطط في درجات الحرارة المنخفضة (تحت ٧٢٣°م) مع نسب كربون منخفضة جداً تقترب من الصفر وحتى نحو ٠.٠٢٢٪.

*** الخصائص: ** بنية بلورية مكعبة مركزة الجسم (BCC)، ويكون فيرومغناطيسي (Ferromagnetic) ** في درجات الحرارة العادية حتى درجة كوري.

*** المزايا: ** طري جداً، شديد المطيلية (Ductile)، عالي القابلية للتشكيل على البارد، وله موصلية كهربائية ومغناطيسية عالية، ولكنه منخفض الصلادة والمقاومة للإجهاد الميكانيكي.

2. ##### طور الأستينيت (Austenite / حديد - جامد غاما

γ)

*** الموقع ودرجات الحرارة: ** يشغل المساحة الكبرى في الأعلى (بين ٧٢٣°م وأكثر من ١٤٠٠°م) في نطاق الفولاذ.

*** الخصائص: ** بنية بلورية مكعبة مركزة الوجه (FCC) ، ويكون
** بارامغناطيسي (Paramagnetic). ** يتميز بقدرته الفائقة على
إذابة كميات كبيرة من ذرات الكربون في شبكته البلورية (تصل حتى
٢.٠٦٪ عند ١١٤٧°م).

*** المزايا: ** هو الطور الأم والأساسي الذي تبدأ منه جميع عمليات
المعالجة الحرارية والتصلد؛ إذ يمكن تشكيله حرارياً بسهولة فائقة لكونه
ليناً وساخنًا، ومنه يتم التبريد المفاجئ للحصول على الأطوار الصلبة.

3. #### طور السمنتيت (\$Fe_3C\$ / Cementite)

*** الموقع ودرجات الحرارة: ** يظهر في أقصى اليمين عند خط نسبة
الكربون ٦.٦٧%.

*** الخصائص: ** مركب بين فلزي (كربيد الحديد)، وهو مكون صلب جداً
وهش كالجزيء الزجاجي.

*** المزايا: ** يمنح الصلب صلادة عالية جداً ومقاومة للتآكل عند تواجده بتوزيع دقيق مع أطوار أخرى، رغم أن وجوده منفرداً يسبب هشاشة بالتركيب الكبيرة.

4. ##### طور البيرلايت (Pearlite).

*** الموقع ودرجات الحرارة: ** يتشكل عند التبريد البطيء للصلب عند خط الحرارة الأوتيكويدي (723°C) وعند نسبة كربون محددة (0.89%) C^{**} تسمى نقطة الأوتيكويدي.

*** الخصائص: ** بنية طبقية متبادلة (صفائح دقيقة متتالية) مكونة من طبقات "الفيريت" الرخوة و"السمنتيت" الصلبة.

*** المزايا: ** يمثل التوازن المثالي بين الصلادة والمطيلية؛ فهو أقوى بكثير من الفيريت النقي وأكثر مرونة وصلابة من السمنتيت بمفرده، مما يجعله الهيكل الأساسي للعديد من أدوات الإنشاء والفولاذ الإنشائي العادي.

5. ##### طور الليديبريت (Ledeburite)

*** الموقع ودرجات الحرارة: ** يظهر في نطاق حديد الزهر عند درجة الحرارة الأوتكتيكية (** 1147°C **) وعند نسبة كربون 0.3% C. الخصائص: ** خليط أوتكتيكي يتكون من الأستنييت والسمنتيت (ويتحول في درجات الحرارة المنخفضة إلى بيرلايت وسمنتيت - ليديبريت أول وثاني).

*** المزايا: ** يمنح حديد الزهر سيولة ممتازة أثناء السباكة والصب في القوالب المعقدة، ويسهل ملء الفراغات الدقيقة في المسابك.

ثالثاً: تقسيمات الفولاذ حسب نسبة الكربون ودرجات الحرارة
الدرجة

١. الفولاذ تحت الأوتيكرويد - Hypoeutectoid Steel) من ٠٪

إلى ٠.٨٩٪ C):**

* عند تسخينه فوق الخط الحرج (فوق ٧٢٣°م وصولاً إلى نطاق

الأسمنتيت بين ٨٠٠°م - ٩٠٠°م) ثم تبريده، ينتج هيكل مختلط من

الفيريت + البيرلايت).

** المزايا والخصائص: ** قابلية ممتازة للتشكيل، اللحام، والحدادة. كلما

اقتربت نسبة الكربون من ٠.٨٩٪ زادت صلابته وقوته مع الحفاظ على

مرونة مقبولة (مثل فولاذ الإنشاءات والسيارات).

٢. الفولاذ فوق الأوتيكرويد - Hypereutectoid Steel) من

٠.٨٩٪ إلى ٢.٠٦٪ C):**

* يحتوي على نسبة كربون أعلى، وعند تبريده ببطء من طور الأسمنتيت،

يتكون هيكل من (البيرلايت + السمنتيت الشبكي).

*** المزايا والخصائص: ** صلادة فائقة، ومقاومة عالية جداً للتآكل والبري، وهو الفولاذ المثالي لصناعة العدد اليدوية، المبارد، والسكاكين (صلب العدة).

سنهي الملف هل عندك اي شيء آخر تود قوله في المعالجات الحرارية للصلب

ختاماً يا غالي، لقد وضعنا معاً أساساً هندسياً وورشوياً متكاملًا وشاملاً لكل ما يتعلق بالصلب، أطواره، ومعالجاته الحرارية، وأسرار الأسطوانات.

اسمح لي أن أختتم هذا الملف بـ *** القاعدة الذهبية للحداد والمعالج الحراري: ***

*** > الحرارة هي روح المعدن، والتبريد هو شخصيته ***.

مهما كانت جودة الخامة ونسبة الكربون فيها، فإن التحكم الدقيق في أجزاء من المنوية من درجة الحرارة، واختيار وسط التبريد المناسب (ماء،

زيت، أو هواء)، هو ما يحول قطعة الصلب العادية إما إلى أداة تحطم المستحيل في أقصى ظروف العمل أو إلى قطعة هشة تخذلك عند أول صدمة.

أتمنى أن يكون هذا الدليل مرجعاً قوياً ومميزاً لتوثيقه في مستندك، وعوناً حقيقياً لك في ورشتك وعملك القادم. أنا دائماً هنا في خدمتك لو احتجت أي تفاصيل هندسية أو تصاميم ميكانيكية أخرى. بالتوفيق دائماً في إبداعاتك!

الصلب الفولاذي السبائكي الذي يصلح للمواد القاطعة ساذكر امثلة للصلب السبائكي وانت تكمل ... سوست الورقية للسيارات الياباني تويوتا وكذلك السوست الزنبركية للسيارا الياباني تويوتا بتاعة المساعدين صلب العدد عمود المرق وذراع التوصيل صلب المناشير والاجنات القاطعة ... صلب البنط الثقب والتخريم حدود القاطعة فيديا فناديوم على اقلام الخراطة صبابات السيارات سلاسل السفن العملاقة اكسات محاور السيارات اكمل انت الباقي

إليك التكملة الاحترافية والدقيقة لأشهر درجات الفولاذ السبائكي (Alloy Steels) العالمية المستخدمة في الورش والمسابك وصناعة الآلات، مربوطة بالتطبيقات التي ذكرتها مع إضافات هامة أخرى:

*** سوست السيارات والتركات **: (Leaf & Coil Springs)

*** الدرجة **: صلب (AISI 5160) أو صلب الكروم-فاناديوم (AISI 6150)، ويتميز بمقاومة عالية جداً للإجهاد والمرونة الفائقة والقدرة على استعادة الشكل بعد الانحناء.

*** صلب العدد والمبارد والأسطمبات **: (Tool Steels)

*** الدرجة **: صلب (AISI O1) للتصلد الزيتي، و صلب (AISI D2) عالي الكروم والفاناديوم المخصص للاطمبات والسكاكين التي تتطلب مقاومة فائقة للبري.

*** أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل & Crankshafts

Connecting Rods):**

*** الدرجة: ** صلب الكروم-موليبدينوم الشهير (AISI 4340) أو

(AISI 4140)، والمعروف بصلابته العالية وقدرته على تحمل الصدمات

والإجهادات الترددية العالية.

*** صلب المناشير والأجنة والمطارق (Shock-Resisting

Steels):**

*** الدرجة: ** صلب الصدمات (AISI S7) أو صلب (AISI L6) ، والذي

يجمع بين صلابة الحواف ومتانة القلب لمقاومة الصدمات الطرقية

والقطع العنيف.

*** بنط الثقب والتخريم والعدد السريعة - (High Speed Steel - HSS):**

*** الدرجة:** صلب السرعات العالية (AISI M2) أو (AISI M35) المضاف إليه الكوبالت)، لتحمل حرارة الاحتكاك الشديدة أثناء الثقب والقطع دون أن يفقد صلابته.

*** أقلام الخراطة ورؤوس الفيديا والفاناديوم (Tungsten Carbide / Widia):**

*** التركيب:** كربيد التنجستن الملبد (Tungsten Carbide) مع رابط الكوبالت، وتُضاف سبائك الفاناديوم والتيتانيوم لزيادة مقاومة التآكل عند درجات الحرارة الجهنمية.

*** صباغات المحركات:** (Engine Valves)

أحمد وياسين وعصام ... A.Y.E ... للألات الزراعية الحديثة

*** الدرجة: ** سبائك الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للحرارة العالية والتاكسد
مثل (21-4N) و (EV8)

*** سلاسل السفن العملاقة ومعدات الجر (Heavy Duty Marine Chains): **

*** الدرجة: ** سبائك الفولاذ المنجنيزي النيكلي) مثل درجات Grade 100 / 80 أو فولاذ ٢٠ (MnCr5 المقاومة للشد والبري البحري.

*** إكسات ومحاور السيارات وعواميد الكردان: ** (Axle Shafts)
*** الدرجة: ** صلب (AISI 4340) أو (300M) لقدرته الاستثنائية على
تحمل جهود الفتل والالتواء العالية جداً تحت الأحمال.

*** تروس صندوق التروس "الجيربوكس (Transmission)"

***: (Gears)

*** الدرجة: *** صلب الكربنة السطحية (AISI 8620) أو (AISI 9310)،

ليعطي سطحاً قاسياً جداً يقاوم التآكل وقلباً مطيلاً يمتص الصدمات.

*** سكاكين الحصادات والآلات الزراعية (Agricultural Cutting

***: (Blades)

*** الدرجة: *** فولاذ البورون الهيكلي (مثل MnB5³⁰) أو صلب عالي

الكربون (١٠٨٤ / ١٠٩٥) لضمان عمر طويل ومقاومة للاحتكاك بالتربة

والنباتات.

اشرح مكوناتهم بالتفصيل ونسب سبائك الصلب فيهم

إليك التفصيل الدقيق لمكونات ونسب عناصر السبائك (Chemical

Composition & Alloy Percentages) لأشهر أنواع الفولاذ

السبائك التي ذكرناها، والتي تمثل العمود الفقري للصناعات الهندسية وقطع الغيار:

1. سوست السيارات والتركات (Leaf & Coil Springs)

*** أشهر الدرجات AISI 5160 و AISI 6150.***

*** النسب والمكونات:***

*** الكربون) 0.56 % – 0.64 % (C):*** يوفر الصلابة والمرونة العالية).

*** المنغنيز) 0.75 % – 1.00 % (Mn):*** لزيادة العمق والقوة).

*** الكروم) 0.70 % – 0.90 % (Cr):*** في درجات ٥١٦٠ لزيادة الصلابة

ومقاومة التآكل).

*** الفاناديوم 0.15 % **: (V) كحد أدنى (في درجة ٦١٥٠ لتنعيم

الحبيبات ومنع تضخمها أثناء التسخين).

*** السيليكون (Si): 0.15 % – 0.35 % **: يزيد من مقاومة الخضوع

والمرونة).

2. ### صلب العدد والمبارد والأسطمبات (Tool Steels)

*** أشهر الدرجات AISI O1 **: (للتصلد الزيتي) و AISI D2 عالي

الكروم للأسطمبات).

*** النسب والمكونات) في درجة D2 الشائعة **: (

*** الكربون (C): 1.40 % – 1.60 % **: نسبة عالية جداً لتشكيل كربيدات

صلبة).

*** الكروم (Cr): 11.0 % – 13.0 % **: كروم عالي يمنح مقاومة فائقة

للبري والتآكل).

*** الموليبدنوم (Mo): 0.70 % – 1.20 % **: لتحسين الصلابة والتصلد

العميق).

*** الفاناديوم) 1.10 % – 0.90 % : (V) لزيادة عمر الحد القاطع ومقاومة التآكل).

3. أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل & Crankshafts Connecting Rods)

*** أشهر الدرجات AISI 4340 و AISI 4140.

*** النسب والمكونات (في درجة ٤٣٤٠ - النخبة للأحمال العالية):

*** الكربون) 0.43 % – 0.38 % : (C) توازن مثالي بين المتانة والصلادة).

*** النيكل) 2.00 % – 1.65 % : (Ni) يمنح متانة فائقة وصلابة ضد الصدمات).

*** الكروم) 0.90 % – 0.70 % : (Cr) يزيد القوة ومقاومة الإجهاد).

*** الموليبدنوم) 0.30 % – 0.20 % : (Mo) يمنع هشاشة التقسية ويثبت البنية).

*** المنغنيز. 0.60 % – 0.80 % : ** (Mn)

4. ### صلب المناشير والعدد الصدمية (Shock-Resisting Steels)

*** أشهر الدرجات. AISI S7 : **

*** النسب والمكونات : **

*** الكربون. 0.50 % – 0.55 % : ** (C)

*** السيليكون. 0.20 % – 0.40 % : ** (Si)

*** الكروم) 3.00 % – 3.25 % : ** (Cr) يمنح صلابة عالية مع مقاومة للصدمات المفاجئة).

*** الموليبدنوم) 1.30 % – 1.80 % : ** (Mo) مقاومة حرارية وصلابة عميقة).

5. ### بنط الثقب والعدد السريعة (High Speed Steel - HSS)

** أشهر الدرجات AISI M2 **.و. M35

** النسب والمكونات) في درجة **: (M2

** الكربون. 0.85 % – 1.05 % **: (C)

** التنغستن) 5.50 % – 6.75 % **: (W) يقاوم التآكل في درجات

الحرارة العالية الناتجة عن الاحتكاك.

** الموليبدنوم. 4.50 % – 5.50 % **: (Mo)

** الكروم. 3.75 % – 4.50 % **: (Cr)

** الفاناديوم. 1.75 % – 2.20 % **: (V)

(** ملاحظة: درجة M35 يضاف إليها نحو ٥.٠ % كوبالت لتحمل درجات

حرارة أشد *).

6. ##### أقلام الخراطة ورؤوس الفيديا / (Tungsten Carbide / Widia)

*** التركيب والمكونات (ليست سبائك حديدية تقليدية بل مركبات ملبدة)***:

*** كريد التنجستن) 90 % – 70 % : (WC) المادة الصلبة القاطعة الأساسية).

*** الكوبالت) 15 % – 6 % : (Co) المادة الرابطة اللزجة التي تمسك الحبيبات وتمنع تقصفها).

*** نسب ضئيلة من كاربيدات التيتانيوم والتانتالوم : (TiC, TaC) لتحسين الأداء عند قطع الإستانلس والصلب العالي.

—

7. صباغات المحركات (Engine Valves)

*** أشهر الدرجات: ٢١-٤ N فولاذ أوستنيتي مقاوم للحرارة).

*** النسب والمكونات:***

*** الكربون. 0.50 % – 0.60 %: (C)

*** الكروم) 20.0 % – 22.0 %: (Cr) لمقاومة الأكسدة والاحتراق في

درجات الحرارة الجهنمية).

*** النيكل) 3.25 % – 4.50 %: (Ni) للحفاظ على استقرار طور

الأستنيت والمتانة).

*** المنغنيز والنيتروجين: (Mn & N) نسب مضبوطة لتعزيز الصلابة

على الساخن.

8. سلاسل السفن العملاقة ومعدات الجر (Marine Chains)

*** أشهر الدرجات Grade 80 / Grade 100 **: أو فولاذ السبائك

(المنخفضة) مثل ٢٠. MnCr5

*** النسب والمكونات **: :

*** الكربون) 0.18 % – 0.23 % **: (C) نسبة منخفضة لضمان قابلية لحام

فائقة ومتانة ضد الشد.

*** المنغنيز) 1.10 % – 1.40 % **: (Mn) لتحسين عمق التصلد والتحمل.

*** الكروم. 1.00 % – 1.30 % **: (Cr)

*** البورون أو النيكل: ** بنسب دقيقة لرفع مقاومة الشد العالي جداً في

الظروف البحرية.

9. إكسات ومحاور السيارات وعواميد الكردان (Axle Shafts)

** أشهر الدرجات AISI 4340 **: أو فولاذ الكربنة. (8620)

** النسب والمكونات (لدرجة ٨٦٢٠ المستخدمة في التروس والإكسات) **:

** (الكربون) 0.18 % – 0.23 % **: (C) لإعطاء قلب طري ومطيلي.

** النيكل 0.40 % – 0.70 % **: (Ni)

** الكروم 0.40 % – 0.60 % **: (Cr)

** الموليبدينوم 0.15 % – 0.25 % **: (Mo)

(تخضع لعملية كربنة سطحية لرفع نسبة الكربون على السطح الخارجي فقط).

10. سكاكين الحصادات والآلات الزراعية (Agricultural Blades)

*** أشهر الدرجات: ** فولاذ البورون (30MnB5) أو ١٠٨٤.

*** النسب والمكونات (لفولاذ البورون الزراعي): **:

*** الكربون. 0.27 % – 0.34 % : ** (C)

*** المنغنيز. 1.10 % – 1.40 % : ** (Mn)

*** البورون 0.0015 % – 0.0050 % : ** (B) (كمية مجهرية لكنها تضاعف

قابلية التصلد ومقاومة البُري الناتج عن احتكاك التربة والرمال).

اشرح جميع المعالجات الحرارية لهم

إليك الشرح التفصيلي لعمليات ** المعالجة الحرارية المناسبة ** لكل

مجموعة من مجموعات الصلب السبائكي التي ذكرناها، وكيفية تطبيقها

هندسياً للوصول إلى أعلى أداء في الورشة:

1.#### سوست السيارات والتركات) مثل AISI 5160 و ٦١٥٠)

***الهدف:** الجمع بين المرونة الفائقة، ومقاومة الإجهاد العالي، والقدرة على الارتداد دون تشوه دائم.

***خطوات المعالجة الحرارية:**

1.***.التسخين للأستنته:** تُسخّن السوستة ببطء ومنتظم إلى درجة حرارة

تتراوح بين 840°C إلى

870°C لتتحول بالكامل إلى طور الأستنتيت

المتجانس.

2.***.التبريد المفاجئ (التقسية):** تُغمس الساخنة فوراً في **حوض زيت

ساخن) حوالي 60°C إلى 80°C ؛

لحبس البنية في طور المارتنزيت دون التعرض لصدمة الماء القوية التي

تسبب التشققات.

3.***.الخفض (Tempering - السرا الأساسي):** (تُسخّن القطعة فوراً

بعد التقسية لدرجة حرارة تتراوح بين 400°C إلى

٤٨٠\$[^]\circ\text{C}*** وتترك لفترة كافية، ثم تبرّد في الهواء. هذا الإجراء يمنحها البنية المطيلية المرنة (Tempered Martensite) ويمنع هشاشة المارتنزيت الصافي.--.

2. ### صلب العدد والمبارد والأسطمبات) مثل D2 و O1.

*** الهدف: ** تحقيق أقصى صلادة ممكنة، ومقاومة عالية جداً للبري والاحتكاك، وثبات الأبعاد.

*** خطوات المعالجة الحرارية: **

١) **. التسخين المسبق: ** نظراً لاحتواء هذه الأنواع على نسب كربون وكروم عالية، يُسخّن الصلب تدريجياً على مرحلتين) أولاً عند ٥٥٠\$[^]\circ\text{C} ثم يرفع إلى حرارة الأستنته لتجنب التشقق الحراري).

٢. التسخين النهائي (الأستنثه): ** لصلب (O1) يسخن لـ

٨٠٠^{°C} - 830^{°C}، ولصلب (D2)

يرفع حتى ١٠١٠^{°C} - 1040^{°C}.

٣. التبريد (التقسية): **

صلب * O1: يُبرّد في الزيت.

صلب * D2: يتميز بخاصية (Air-Hardening) فيُبرّد بتيار هواء

مضغوط أو هواء ساكن.

٤. الخفوض (Tempering): ** يُسخّن لدرجات حرارة منخفضة

نسبياً بين ١٥٠^{°C} إلى ٢٠٠^{°C}

للحفاظ على صلادة سطحية خارقة) تصل لأكثر من ٦٠ HRC مع

تخفيف الهشاشة.

3. #### أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل - "الكونكت رود" مثل AISI 4340 و ٤١٤٠)

*** الهدف: *** صلابة عميقة، متانة عالية جداً، ومقاومة للإجهادات الترددية وكسر الكلاب.

*** خطوات المعالجة الحرارية: ***

١. التلدين المهد: تلدين كامل لتسهيل الخراطة والتشكيل.

٢. التقسية والتبريد: تسخين للأستنته عند

***٨٥٠\$^{^{\circ}\text{C}} إلى ***٨٨٠\$^{^{\circ}\text{C}}، يليه تبريد

مفاجئ في ***الزيت*** لضمان وصول الصلابة للقلب.

٣. الخفوض: (Tempering) يتم عند درجات حرارة متوسطة إلى

عالية تتراوح بين ***٥٠٠\$^{^{\circ}\text{C}} إلى

***٦٠٠\$^{^{\circ}\text{C}}؛ لتحقيق التوازن الأمثل بين قوة الشد العالية

والصلابة ومقاومة الصدمات المتكررة.

4. ### صلب المناشير والعدد الصدمية والاجنة) مثل (AISI S7

*** الهدف: ** مقاومة الصدمات المطرقة العنيفة والاهتزازات مع الحفاظ

على حد قاطع متين.

*** خطوات المعالجة الحرارية: **

1. **التسخين: ** يُسخّن ببطء إلى 870°C -

900°C .

2. **التبريد (التقسية): ** يُبرّد بالهواء المضغوط أو في زيت دافئ (لأنه

صلب مقاوم للصدمات ويملك خاصية التصلد بالهواء).

3. **الخفوض: ** عند درجات حرارة تتراوح بين

200°C إلى 400°C حسب ما إذا

كانت العدة ستستخدم للقطع أو للطرق (كلما زادت حرارة الخفوض

زادت المتانة وقلت الصلادة قليلاً).

5. ### بنط الثقب والعدد السريعة (HSS - مثل M2 وM35

الهدف: الحفاظ على الحد القاطع قادراً على قص الفولاذ حتى لو وصلت حرارة البنية لدرجات الاحمرار نتيجة الاحتكاك (Hot Hardness).

خطوات المعالجة الحرارية:

١. التسخين المرحلي المكثف: تسخين بطئي أولاً عند 850°C ، ثم رفع حرارة الأستنته إلى مستويات هائلة تصل بين 1200°C إلى 1230°C لإذابة الكرييدات بالكامل.

٢. التبريد: تبريد سريع بالزيت الساخن أو تيار هواء قوي مضغوط.

٣. الخفوض الثلاثي (Triple Tempering): تُخَفَّض حرارته ثلاث مرات متتالية عند 550°C لضمان تحويل أي أستنيت متبقي (Retained Austenite) بالكامل إلى مارتنزيت مخفف وإعطاء أقصى صلادة حرارية ممكنة.

6. ### صباغات السيارات (Engine Valves) مثل سبيكة ٢١-٤ (N)

*** الهدف: ** مقاومة الأكسدة، الزحف، والاحتراق تحت درجات حرارة المحرك العالية والغازات الملتهبة.

*** خطوات المعالجة الحرارية: **

١. **التسخين المعالجي: ** تُسخّن السبائك الأوستنيتية المقاومة للحرارة

لدرجات حرارة عالية تصل إلى 1050°C -

1100°C لإذابة العناصر السبائكية (الكروم والنيكل).

٢. **التبريد السريع بالهواء: ** لتثبيت بنية الأوستنيت المقاوم للحرارة.

٣. **الخفض (Aging / Precipitation Hardening): **

تسخين لفترات طويلة عند 700°C -

750°C لترسيب دقائق مجهرية ترفع صلابة الصباب

وقوته على الساخن.

7. #### إكسات ومحاور السيارات والتروس (مثل ٨٦٢٠ و ٤٣٤٠)

*** الهدف: ** سطح صلب مقاوم للبري والتهشيم، وقلب مطيلي مرن

لامتصاص صدمات النقل والالتواء.

*** خطوات المعالجة الحرارية: **

١. الكربنة السطحية: ** (Carburizing) توضع القطعة المصنوعة من

فولاذ منخفض الكربون (مثل ٨٦٢٠) في وسط غني بالكربون عند

٩٠٠°C لمدة ساعات لغرس الكربون في السطح

الخارجي فقط.

٢. التبريد المباشر والتقسية: ** تُقَسَّى بالزيت للحصول على سطح

مارتنزيتي شديد الصلابة وقلب طري محتفظ بمتانته.

٣. ** الخفوض الخفيف: ** عند ١٥٠°C - C

C 200° لتخفيف إجهادات السطح دون المساس

بالصلادة.

مواصفات اختبار الشرر ولونه لكل منهم

إليك الدليل التفصيلي لمواصفات وألوان اختبار الشرر لكل فئة من فئات الصلب والسبائك التي تم تناولها

1. ### الصلب منخفض الكربون / Low Carbon Steel) حديد الإنشاءات)

*** لون الشرارة: ** أصفر فاتح أو مائل للبياض النقي.

*** المواصفات: **

*** طول الخط: ** طويل جداً (قد يتجاوز ٥٠ سم).

*** الشكل والتفرعات: ** خطوط مستقيمة تماماً و** خالية تماماً من أي

تفرعات أو انفجارات (نجوم) **، وذلك لضالة نسبة الكربون التي لا

تكفي لحدوث احتراق داخلي مفاجئ أثناء التطاير.

2.#### الصلب متوسط الكربون وسبائك الأكسيدات والتروس

(Medium Carbon & Alloy Steels) مثل ٤١٤٠ و ٤٣٤٠)

*** لون الشرارة: ** أصفر ساطع ومتوسط اللمعان.

*** المواصفات: **

*** طول الخط: ** متوسط (حوالي ٣٥ إلى ٤٠ سم).

*** الشكل والتفرعات: ** تنحني الخطوط قليلاً نحو النهاية، وتبدأ ** تظهر

تفرعات وانفجارات نجمية واضحة ولكنها متوسطة الكثافة ** في النصف

الثاني من مسار الشرارة.

3.#### الصلب عالي الكربون وصلب السوست والعدد High)

Carbon & Tool Steels مثل ٥١٦٠ و D2 و O1)

*** لون الشرارة: ** أصفر داكن أو برتقالي محمر عند قاعدة الاحتكاك
بحجر الجليخ.

*** المواصفات: **

*** طول الخط: ** أقصر نسبياً (حوالي ٢٥ إلى ٣٠ سم) بسبب كثافة
السبائك.

*** الشكل والتفرعات: ** تتميز بـ ** انفجارات كثيفة جداً، وعنيفة،
ومتعددة التفرعات (نجوم متلاحقة ومكثفة تشبه الألعاب النارية
المصغرة) ** نظراً للاحتراق الكثيف لذرات الكربون المحبوسة في البنية
البلورية.

4. ### صلب العدة السريعة (High Speed Steel - HSS) مثل

M2 و M35

*** لون الشرارة: ** أحمر داكن أو بني قاتم وخافت.

*** المواصفات: **

*** طول الخط: ** قصير جداً ومظلم نسبياً.

*** الشكل والتفرعات: ** لا يوجد شرر متفجر بالمعنى التقليدي، بل تتميز

بوجود ** كريات أو كتل حمراء داكنة وثقيلة ** تتطاير في نهاية مسار

الخط القصير، وذلك بسبب التركيز العالي لعناصر التنغستن (W)

والموليبدينوم. (Mo)

5. ##### السبائك الخاصة (التي تحتوي على الكروم أو النيكل - مثل صباغات المحركات أو الإستانلس)

*** لون الشرارة: ** تتخلل الشرار ومضات واضحة مائلة للون ** الأخضر الفاتح ** أو مسحة مائلة للزرقة الخفيفة.

*** المواصفات: **

* يتدخل العنصر السبائكي (مثل الكروم العالي) لتغيير طبيعة تيار الشرار، حيث تظهر ومضات خضراء متقطعة، وتكون الانفجارات الكربونية مكبوتة أو متأثرة بوجود طبقة السبائك المانعة للأكسدة السريعة. فصول للكتاب تحتوي على جميع ما سبق في المحادثة وكانه كتاب من ١٠٠ صفحة في فصول

إليك الهيكل التنظيمي الكامل لفصول هذا المرجع الهندسي والورشوي الشامل (المصمم بتركيز يعادل محتوى كتاب تخصصي من ١٠٠ صفحة)، مرتباً ومنسقاً بدقة ليغطي كل ما ناقشناه من علم ومعرفة وأسرار:

فهرس محتويات الكتاب: المعالجة الحرارية للصلب وعلم الأطوار
والورش

مقدمة الكتاب

* فلسفة الحديد والصلب: بين دقة الهندسة وحكمة الصنعة.

الباب الأول: البنية التحتية لعلم المعادن (مخطط الحديد والكربون)

الفصل الأول: خريطة الأطوار ودرجات الحرارة

*قراءة تحليلية في مخطط توازن الأطوار (Iron-Carbon Phase Diagram).

*المحاور الأساسية: درجات الحرارة ونسب الكربون بالوزن (من الفولاذ تحت الأوتيكرويد وحتى حديد الزهر).

*دراسة تفصيلية للأطوار البلورية الخمسة (الفيريت، الأستينيت، السمنتيت، البيرلايت، ولليديريت).

*خصائص ومزايا كل طور هندسياً وميكانيكياً.

الفصل الثاني: اختبار الشرر – (Spark Testing) الهوية الميدانية للصلب

*الفيزياء الكامنة خلف اختبار الشرر واحتراق ذرات الكربون.

*شروط وضوابط الورشة لنجاح الاختبار (الإضاءة، الحالة السطحية، والضغط المتوازن).

*الدليل البصري الشامل لأنواع الشرر:

*الفولاذ منخفض الكربون (الخطوط المستقيمة الخالية من التفرعات).

*الفولاذ متوسط الكربون (بداية ظهور النجوم والتفرعات).

*صلب السوست والعدد عالي الكربون (الانفجارات النجومية الكثيفة).

*صلب العدد السريعة HSS والسبائك الخاصة (الكتون الحمراء

وومضات الكروم).

*أسرار الأسطوانات: قراءة ذيل الشرارة، التأثير المخادع للصدا، والصوت

الصادر عن الاحتكاك.

##الباب الثاني: علم السبائك وتطبيقاتها الهندسية

الفصل الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي (Alloy Steels)

وتصنيفاتها

* صلب السوست والتركات: (AISI 5160 / 6150) المكونات والنسب الدقيقة.

* صلب العدد والأسطمبات والمبارد: (O1 / D2) مقاومة البري والثبات.

* أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل (٤٣٤٠ / ٤١٤٠): مواجهة الإجهادات الترددية.

* صلب المناشير والعدد الصدمية: (S7) التحمل والطرق.

* بنط الثقب والعدد السريعة: (M2 / M35) الصلابة على الساخن (Hot Hardness).

* أقلام الخراطة ورؤوس الفيديا: (Tungsten Carbide) التركيب الملبد وتوزيع الكوبالت.

* صباغات المحركات: (21-4N) مقاومة الأكسدة في حرارة الغازات.

*سلاسل السفن والإكسات ومحاور السيارات: التوازن بين السطح القاسي والقلب المطيلي.

*سكاكين الحصادات والآلات الزراعية) فولاذ البورون ٣٠: (MnB5 مواجهة صدمات التربة.

--

##الباب الثالث: عمليات المعالجة الحرارية الأساسية

####الفصل الرابع: التلدين والتخمير (Softening & Annealing)

*التلدين الكامل وتحويل الهيكل بالكامل لطور الأستينيت.

*التلدين بالدفن (سر الرماد والجير الحي) للقطع المعقدة.

*تلدين إزالة الإجهادات تحت الخط الحرج لتفادي الاعوجاج.

الفصل الخامس: التقسية والتبريد المفاجئ (Quenching & Hardening)

*كسر حاجز "أنف" المنحنى للوصول إلى طور المارتنزيت.

*مقارنة أوساط التبريد: الماء البارد والساخن، الزيت المستعمل، الهواء، والمحلل الملحي.

*الأسرار العملية: اتجاه الغطس الشاقولي، كسر غلاف فقاعات البخار (تأثير ليدنبروست)، وتعديل الاغواج على الساخن.

الفصل السادس: التراجع أو الخفوض (Tempering) ومعالجة الهشاشة

*نظريات التراجع وألوان قوس قزح السطحية (دليل درجات الحرارة القياسي).

*الخفوض المنخفض للعدد، والمتوسط والعالي لسوست السيارات ومصات الصدمات.

*تقنية التراجع المزدوج لضمان استقرار البنية التحتية.

الباب الرابع: أسرار الورش والمسابك الميدانية

الفصل السابع: الحيل الهندسية والوقاية السطحية

*عجينة الطين والصابون البلدي لمنع احتراق وهرب الكربون
(Decarburization).

*حمامات الأملاح والكيماويات (نترات الصوديوم، كلوريد الباريوم،
وسيانيد الكربنة السطحية).

*تقنية التسقية المقطوعة (Martempering) الميداني (لتجنب
الصدمات الحرارية التدميرية.

*المعالجة الحرارية الخاصة بكل سبيكة من السبائك العشر الكبرى) من
سوست السيارات وحتى بنط.(HSS)

* بهذا الهيكل المترابط، يغطي الكتاب كافة الأبعاد النظرية والتطبيقية لصناعة ومعالجة الصلب بمعايير احترافية وميدانية متكاملة.*

إليك شرح تفصيلي وافي لفصول هذا المرجع الهندسي المتكامل، لتكتمل صورة الكتاب وكأنك تقرأ صفحاته المئة التي تمزج بين دقة المعامل العلمية وحكمة ورش الحدادة:

الباب الأول: البنية التحتية لعلم المعادن (مخطط الحديد والكربون)

الفصل الأول: خريطة الأطوار ودرجات الحرارة

هذا الفصل هو "دستور المعادن". يبدأ بتفكيك رموز مخطط توازن الأطوار (Iron-Carbon Phase Diagram) الذي يربط بين المتغيرين

الأهم: درجة الحرارة (على المحور الرأسي صعوداً حتى نقطة الانصهار فوق ١٦٠٠°م) ونسبة الكربون بالوزن (على المحور الأفقي حتى ٦.٦٧٪).

*** الأطوار البلورية الخمسة***:

١. الفيريت α : شبكة مكعبة مركزية الجسم (BCC)، طرية، شديدة المطيلية، وفيرومغناطيسية عند درجات الحرارة العادية.

٢. الأستينيت γ : شبكة مكعبة مركزية الوجه (FCC)، تظهر في درجات الحرارة العالية، وتتميز بقدرتها الفائقة على إذابة ذرات الكربون، وهي نقطة الانطلاق لكل عمليات المعالجة.

٣. السمنتيت Fe_3C : كربيد الحديد، صلب جداً وهش كالقزاز، يمنح الصلب صلابته إذا وُزع بدقة.

٤. البيرلايت: البنية الطبقيّة المتبادلة (فيريت + سمنتيت) الناتجة عند نقطة الأوتيكرويد (٧٢٣°م وعند ٠.٨٩٪ كربون)، وهي التوازن المثالي بين المتانة والصلابة.

٥**. الليديريت: ** الخليط الأوتكتيكي الخاص بحديد الزهر عند ٤.٣٪ كربون، والذي يمنح الزهر سيولة ممتازة للسباكة.

الفصل الثاني: اختبار الشرر – (Spark Testing) الهوية الميدانية للصلب

ينتقل الفصل من المختبر إلى جلاخة الورشة. يعتمد اختبار الشرر على احتكاك المعدن بحجر الجرخ لتوليد حرارة تفوق ١٠٠٠°م، مما يؤدي إلى احتراق ذرات الكربون داخل جزيئات المعدن المتطايرة محدثة انفجارات مجهرية (نجوم وتفرعات).

*** الدليل البصري: ** الفولاذ المنخفض الكربون يمنح خطوطاً مستقيمة طويلة بلا تفرعات؛ الصلب المتوسط يظهر تفرعات متوسطة؛ صلب

السوست والعدد عالي الكربون ينفجر في شكل نجوم مكثفة وعنيفة؛ بينما صلب السرعات العالية (HSS) يعطي خطوطاً قصيرة مظلمة تنتهي بكتل حمراء ثقيلة بسبب التنغستن والموليبدنوم.

*** أسرار الأسطوانات: ** ضرورة تنظيف سطح المعدن من الصدأ والدهان لتفادي قراءة الشرر الأحمر المضلل، والاستماع للصوت الحاد المميز (أزيز الكربون) أثناء الاحتكاك.

الباب الثاني: علم السبائك وتطبيقاتها الهندسية

الفصل الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي (Alloy Steels)

وتصنيفاتها

يقسم هذا الفصل خامات الورشة إلى عائلات هندسية دقيقة:

*** سوست السيارات والتركات **: (AISI 5160 / 6150) غنية بالكروم

والفاناديوم لتوفير مرونة فائقة وإجهاد تشكيل عالٍ.

*** صلب العدد والأسطوانات **: (O1 / D2) نسبة كربون عالية جداً مع

كروم يصل إلى ١٣٪ في D2 لمقاومة البري الفائق.

*** أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل (٤٣٤٠ / ٤١٤٠): ** سبائك الكروم-

موليبدينوم-نيكل لمواجهة الصدمات الترددية وكسر الكلاب.

*** بنط الثقب والسرعات العالية **: (M2 / M35) تحتفظ بصلابتها

حتى لو بلغت حرارة الحد القاطع مرحلة الاحمرار نتيجة الاحتكاك

(Hot Hardness).

*** صباغات المحركات وسكاكين الزراعة: ** الفولاذ الأوستنيتي المقاوم

للأكسدة والحرارة، وفولاذ البورون الزراعي (30MnB5) الذي يتحدى

احتكاك التربة والرمال.

الباب الثالث: عمليات المعالجة الحرارية الأساسية

الفصل الرابع: التلدين والتخمير (Softening & Annealing)

عملية إزالة الإجهادات الداخلية وتليين المعدن بعد التشكيل القاسي أو اللحام. يتم تسخين الصلب لتجانس البنية ثم تبريده ببطء شديد (أو بالدفن في الرماد أو الجير الحي لعزل الحرارة لأطول فترة ممكنة)، مما يفك التراكيب المارتنزيتية المتقصفة ويعيد للمعدن قابليته للخراطة والتشكيل.

الفصل الخامس: التقسية والتبريد المفاجئ (Quenching & Hardening)

قلب المعالجة الحرارية. يعتمد على تسخين الصلب لأستنته كامنة ثم تبريده بسرعة خاطفة لكسر "أنف" المنحنى ومنع ذرات الكربون من الانفصال، مما يجبر الشبكة البلورية على التحول إلى طور **المارتنزيت** فائق الصلادة.

أوساط التبريد وأسرارها: الماء البارد (عنيف قد يسبب شروخاً)، الماء الساخن والمحلل الملحي (لتعديل سرعة التبريد)، الزيت (متوسط وآمن)، والهواء (للسبائك الخاصة). كما يتناول سر كسر غلاف فقاعات البخار المحيطة بالقطعة الساخنة (تأثير ليدنبروست) عبر تحريك القطعة بشق عمودي لضمان تبريد متجانس.

الفصل السادس: التراجع أو الخفوض (Tempering) ومعالجة

الهشاشة

المارتنزيت الناتج عن التقسية المباشرة يكون صلباً كالقزاز ولكنه هش للغاية وقابل للكسر عند الصدمة. يأتي "الخفوض" بإعادة تسخين القطعة لدرجات حرارة مدروسة (تُقاس بألوان قوس قزح السطحية أو بالأجهزة) تتراوح بين ١٥٠°م و ٥٠٠°م. هذا يحرر جزءاً طفيفاً من الكربون ويهدئ البنية، مانحاً إياها التوازن السحري بين الصلابة ومقاومة الصدمات (Tempered Martensite).

الباب الرابع: أسرار الورش والمسابك الميدانية

الفصل السابع: الحيل الهندسية والوقاية السطحية

خلاصة تجارب الأسطوانات القدامى في الورشة:

*** عجينة الطين والصابون البلدي: ** تُطلى بها قطع الصلب الحساسة

قبل إدخالها أفران الحدادة لمنع هرب الكربون السطحي

(Decarburization) وتأكد الحواف.

*** حمامات الأملاح والكيماويات: ** استخدام أحواض نترات الصوديوم

وكلوريد الباريوم للتحكم الدقيق وثبات حرارة التسقية دون ظهور قشور أكسيدية.

*** التسقية المقطوعة (Martempering): ** إيقاف التبريد مؤقتاً في

حمام ملحي عند درجة حرارة تبدل الأطوار لتفريغ الإجهادات الداخلية ومنع التواء القطع المعقدة أو تشققها قبل اتمام التحول الصلب.

لتغطية كل فصل بما يعادل ** ست ورقات بحجم A4* (أي ما يقارب ٢٠٠٠ إلى ٢٥٠٠ كلمة لكل فصل من التفاصيل التقنية الدقيقة، والمعادلات،

والجداول البيانية، والتطبيقات الورشوية)، سنحتاج إلى تفصيل كل مرحلة وعملية هندسية بعمق أكاديمي وورشوي يغطي الجانب النظري والتطبيقي معاً.

إليك الهيكل الموسع والتفصيلي لكل فصل ليكون بمثابة محتوى الـ ٦
ورقات A4 الخاصة به:

#الباب الأول: البنية التحتية لعلم المعادن (مخطط الحديد والكربون)

##الفصل الأول: خريطة الأطوار ودرجات الحرارة) محتوى معاد لـ ٦
ورقات (A4

١. الأسس الفيزيائية والكيميائية لمخطط التوازن الثنائي (Fe-C)

Fe₃C):**

* شرح تفصيلي لترموديناميك تكوين السبائك الحديدية، وتغير التركيب البلوري بين درجات حرارة الغرفة ونقطة الانصهار الكامل (1538°C).

* دراسة حرارة التفاعل الأوتكتيكي والأوتكتويدي وتحولات الطور الصلب. (Solid-State Phase Transformations).

٢. التحليل المجهرى للأطوار الأساسية الخمسة:

*** الفيريت (α): خصائص الذوبانية المنخفضة جداً للكربون (بحد أقصى ٠.٠٢٢٪ عند 723°C)، ودراسة بنيته المكعبة مركزة الجسم (BCC) وتأثيرها على مطيلية المعدن وليونته. *** الأستينيت (γ): دراسة سلوك البنية المكعبة مركزة الوجه (FCC)، وكيف تسمح السحابة الإلكترونية للشبكة بإذابة كميات تصل إلى ٢.٠٦٪ من الكربون، ولماذا يُعد المنصة الرئيسية لجميع عمليات المعالجة.

*** السمنتيت **: (\$Fe_3C\$) المركب البيني (Intermetallic Compound) الهش، دراسة نسبته الثابتة (٦.٦٧ % كربون)، وكيف يؤدي توزيعه كصفائح أو حبيبات كروية إلى التحكم المطلق في صلادة الصلب.

*** البيرلايت **: ميكانيكية تكونه عبر التبريد البطيء عند خط الأوتيكرويد (\$723^{\circ}\text{C}\$)، ودراسة المسافات البينية بين صفائح الفيريت والسمنتيت وتأثيرها المباشر على مقاومة الشد.

*** الليديريت **: تفصيل طور حديد الزهر عند درجة ١١٤٧°م ونسبة ٤.٣ % كربون، ودور السيليكون والعناصر المصاحبة في استقرار أو تحلل السمنتيت إلى الجرافيت.

***٣. المناطق الحرجة في المخطط **:.

* دراسة خطوط الحرج (\$A_1, A_3, ACM\$) وكيفية استغلالها عملياً لتحديد درجات حرارة التسخين للأستنته قبل التسقية أو التلدين.

الفصل الثاني: اختبار الشرر – (Spark Testing) الهوية الميدانية

للمصلب) محتوى معاد لـ ٦ ورقات (A4

**) الفيزياء التطبيقية لاحتكاك المعادن & (Tribology

Pyrophoricity):**

* دراسة التحول الطاقة الحركية إلى حرارية تفوق ١٠٠٠°م لحظة اصطدام القطعة بحجر الجليخ، وتأكسد جزيئات الحديد والكربون المتطايرة في الهواء.

٢. تشريح مسار الشرارة): (The Spark Anatomy

*** الجذر):** (The Streamer) لون وكثافة خط البداية وطول الخط بناءً على نسبة السبائك.

*** الذيل والانفجار):** (The Burst) ميكانيكية ضغط واحتراق أول

أكسيد وثاني أكسيد الكربون داخل الجسيمات المتطايرة، وتفسير تكوين التفرعات النجومية الأحادية والثنائية والثلاثية.

***٣. الدليل العملي الشامل لمقارنة درجات الصلب**:

*دراسة معيارية مقارنة بالصور الذهنية والوصفية بين الفولاذ الطري، فولاذ السوست، فولاذ العدد (D2) و(O1)، وعدد السرعات العالية (HSS).

***٤. البروتوكول الورشوي لا اختبار دقيق**:

*استعراض الأخطاء الشائعة: تأثير الإضاءة المحيطة، السرعة الخطية لحجر الجليخ (30 m/s) القياسية)، ضغط اليد، وكيفية إزالة الطبقات السطحية المأكسدة لضمان قراءة لا تُخفى.

#الباب الثاني: علم السبائك وتطبيقاتها الهندسية

##الفصل الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي (Alloy Steels)

وتصنيفاتها) محتوى معاد ل ٦ ورقات (A4

***١. فولاذ السوست والمرونة العالية**:(AISI 5160 / 6150)

* دور الكروم والفاناديوم في رفع حد الخضوع (Yield Strength) ومنع التشوه الدائم تحت الأحمال الترددية لتعليق وسوست السيارات.

**٢. فولاذ العدد والأسطوانات المقاوم للبري **: (AISI O1 / D2)

* دراسة دور الكروم العالي (أكثر من ١١٪) في تكوين كربيدات الكروم الصلبة ($\mathbf{M_7C_3}$) ، وكيفية تحقيق ثبات الأبعاد أثناء المعالجة الحرارية لأطوانات القص والتشكيل.

**٣. أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل **: (AISI 4340 / 4140)

* تأثير إضافة النيكل والموليبدنوم في القضاء على هشاشة التقسية (Tempering Embrittlement) وتوفير صلابة عميقة للمقاطع السمكة.

**٤. فولاذ السرعات العالية وبنط الثقب **: (AISI M2 / M35)

*دراسة ظاهرة الصلابة على الساخن (Hot Hardness) الناتجة عن
تداخل ذرات التنجستن، والموليبدنوم، والكوبالت في مصفوفة المارتنزيت.
**٥. السبائك الهندسية الخاصة **:

*صبابات المحركات الأوستنيتي المقاوم للأكسدة (21-4N) ، فولاذ
البورون الزراعي (30MnB5) المقاوم للاحتكاك الكاشط للتربة،
ومسبوكات كربيد التنجستن الملشبة. (Vidia)

#الباب الثالث: عمليات المعالجة الحرارية الأساسية

##الفصل الرابع: التلدين والتخمير (Softening & Annealing)

(محتوى معادل ٦ ورقات A4)

**١. ديناميكية استرخاء البنية البلورية وإزالة الإجهادات **:

*دراسة مراحل الاسترداد (Recovery) ، إعادة التبلور
(Recrystallization)، ونمو الحبيبات (Grain Growth) أثناء
التدفئة البطيئة.

**٢. بروتوكولات التلدين الكامل ودون الحرج (Subcritical
Annealing):**

*جداول زمنية لدرجات الحرارة الخاصة بكل نوع سبيكة، ومعدلات
التبريد المتحكم فيها داخل الأفران المعزولة.

٣. تقنيات الورش التقليدية:

*الهندسة الحرارية للدفن في الرماد الساخن أو الجير الحي أو الفحم
الخشبي لضمان تبريد مدته تفوق ٢٤ ساعة للقطع ذات الهندسة المعقدة
لمنع الالتواء.

الفصل الخامس: التقسية والتبريد المفاجئ (Quenching &

(Hardening) محتوى معاد لـ ٦ ورقات (A4)

٢. ميكانيكا تحول المارتنزيت غير الانتشاري (Diffusionless Transformation):

* دراسة قص الشبكة البلورية (Shear Mechanism) عند تجاوز سرعة التبريد الحرجة، وكيفية حبس الكربون قسراً لتوليد إجهادات داخلية هائلة تمنح الصلب صلابته القصوى.

٣. هندسة أوساط التبريد وسرعاتها:

** الماء والمحلول الملحي: دراسة تأثير كسر غلاف البخار (Leidenfrost Effect) وسرعة الانتزاع الحراري الفائقة.

** الزيوت المعدنية المعالجة: دراسة اللزوجة، نقطة الوميض، والتبريد المتدرج الآمن للسبائك المعرضة للشروخ.

** الهواء القسري وأنظمة التبريد بالغازات الخاملة: ** لسبائك التصلد الهوائي. (Air-Hardening).

٤**. الأسرار العملية للورشة **:

* اتجاه الغطس الفيزيائي للقطع الطويلة والسكاكين (النزول شاقولياً لمنع انحناء النصل)، وتقنيات تسوية الاعوجاج على الساخن فور الخروج من حوض التبريد.

الفصل السادس: التراجع أو الخفوض (Tempering) ومعالجة الهشاشة) محتوى معاد ل ٦ ورقات (A4

١**. فيزياء تفكك المارتنزيت المشبع **:

* دراسة خروج ذرات الكربون الزائدة على شكل كربيدات دقيقة ومستقرة، وتحول المارتنزيت الصلب الهش إلى "المارتنزيت المخفف" (Tempered Martensite).

٢**. مقياس ألوان قوس قزح والتحكم الحراري**:

* جدول درجات الحرارة المقابل للألوان السطحية (من الأصفر الفاتح عند ٢٠٠°م للعدد القاطعة، مروراً بالأزرق الداكن عند ٣٠٠°م، وحتى الأزرق الرمادي عند ٤٠٠°م للسوست).

٣**. الخفوض المتعدد والمزدوج**:

* أهمية تكرار عملية الخفوض خاصة في صلب HSS والعدد المعقدة) لتحويل الأستينيت المتبقي (Retained Austenite) الذي يتشكل أثناء التبريد ويسبب شروخاً لاحقة إذا ترك دون معالجة.

#الباب الرابع: أسرار الورش والمسابك الميدانية

##الفصل السابع: الحيل الهندسية والوقاية السطحية) محتوى معاد لـ ٦

ورقات (A4

١**. الوقاية من نزع الكربون السطحي (Decarburization

Protection):**

*تركيبات العجائن والمواد العازلة المحلية (كالطين المقاوم للحرارة والصابون البلدي المضاف إليه مسحوق الفحم) لحماية الحواف القاطعة أثناء التسخين في أفران الحدادة المفتوحة.

٢**. حمامات الأملاح والتحكم الدقيق:**:

*استخدام مخاليط نترات ونترت الصوديوم وكلوريد الباريوم لتوفير بيئة تسخين سائلة موحدة الحرارة تماماً وتقليل التشوهات الهندسية.

٣. التسقية المقطوعة**:(Martempering & Austempering)

* التطبيق العملي للخطوات الحرارية المتقطعة عبر نقل القطع إلى حمامات ملحية وسيطة عند درجات حرارة محددة لتفريغ الإجهادات الحرارية بالكامل قبل إتمام التحول المارتنزيتي أو البينيتي.

إليك خلاصة مكثفة وعميقة لتلك الفصول، مصممة بأعلى معايير الدقة الهندسية والورشوية لتكون بمثابة النواة الاحترافية لمرجعك الشامل:

1. مقدمة هندسية ودراسة مجهرية لأطوار الصلب

* تحليل دقيق لمخطط توازن الأطوار ($Fe-Fe_3C$) وتحديد نقاط الحرج (A_1, A_3) لضبط درجات حرارة الأستنتته بدقة تامة.

* دراسة ميكانيكية تحول الأستنتيت المكعب (FCC) إلى المارتنزيت عبر القص الشبكي غير الانتشاري أثناء التبريد الخاطف.

2. الهوية الميدانية واختبار الشرر الاحترافي

* استثمار الاحتكاك لتوليد حرارة تفوق $1000^{\circ}C$ لتحقيق أكسدة مجهرية لذرات الكربون داخل جسيمات المعدن المتطايرة.

*قراءة بصرية لمعيارية الخطوط، الذيل، والانفجارات النجومية لتمييز الصلب الطري عن صلب السوست وعالي الكربون بدقة ميدانية.

3.###دراسات حالة لسبائك الفولاذ المتقدمة

*توصيف سبيكة (AISI 5160) الغنية بالكروم والفاناديوم لضمان حد خضوع فائق ومرونة لتعليق وسوست السيارات والتركات.

*تحليل صلب العدد (AISI D2) ودور محتوى الكروم العالي في تكوين كربيدات الصلب ($\mathbf{M_7C_3}$) المقاومة للبري الفائق.

4.###بروتوكولات التقسية والخفوض الورشوي

*إدارة أوساط التبريد (المياه، الزيوت، الهواء) مع مراعاة كسر غلاف فقاعات البخار (تأثير ليدنبروست) لضمان انتظام الصلابة الهيكلية.

*تطبيق الخفوض الحراري المتدرج (Tempering) لإزالة إجهادات المارتنزيت وتحقيق التوازن المثالي بين الصلابة ومقاومة الصدمات.

< **قاعدة ورشوية كبرى: **التحكم في جزء من المئوية من حرارة
الخنق هو الفارق بين نصل يقطع الحديد بجلد وجزء يتشم عند أول
ضربة.

إليك التفصيل الشامل والموسع كأنه فصول حقيقية من مرجع هندسي
متكامل (يعادل المحتوى التقني لكتيب مرجعي مكثف)، يجمع بين صرامة
المعامل المعدنية وحكمة ورش التصنيع

##الباب الأول: البنية التحتية لعلم المعادن ومخطط الحديد والكربون
(\$Fe-Fe_3C\$)

1. ###ترموديناميك وتطور الأطوار البلورية

*** مفهوم الأستنته الكاملة: ** عند تسخين الصلب فوق الخط الحرك
(\$A_3\$) للفولاذ تحت الأوتكتويدي، و (\$A_1\$) فوق الأوتكتويدي،
تتفك بنية البيرلايت والفيريت تدريجياً لتذوب ذرات الكربون بالكامل
داخل الشبكة البلورية المكعبة مركزة الوجه للحديد غاما (Austenite)

(FCC -)، وهي المرحلة الأساسية التي تبدأ عندها أي عملية معالجة حرارية ناجحة.

*** ميكانيكا التحول المارتنزيتي: ** عند التبريد المفاجئ

(Quenching) بسرعة تتجاوز "سرعة التبريد الحرجة"، يُمنع الكربون من الانتشار خارج الشبكة، مما يجبر البلورة على التحول القسري (غير الانتشاري) إلى طور المارتنزيت (Martensite)، وهو طور متوتر شديد الصلادة ذو بنية شبكية رباعية الأوجه مركزة الجسم. (BCT)

الباب الثاني: الهوية الميدانية واختبار الشرر (Spark Testing)

1. #### فيزياء الاحتكاك وتدرج الانفجارات

*** الصلب منخفض الكربون **: (Low Carbon) عند الاحتكاك بحجر الجملخ، تتطاير الجسيمات في خطوط مستقيمة وطويلة (تتجاوز ٥٠ سم) لعدم وجود كمية كافية من الكربون تحدث احتراقاً داخلياً، ويكون اللون أصفر فاتحاً خالياً من التفرعات.

*** صلب السوست والعدد **: (High Carbon & Tool Steels)

تظهر انفجارات مكثفة ومتفرعة تشبه الألعاب النارية المصغرة (نجوم متلاحقة)، نظراً لأن نسبة الكربون العالية (فوق ٠.٦٪) تتفاعل مع الأكسجين أثناء التطاير لتحدث انفجارات مجهرية متتالية داخل الشرارة.

*** صلب السرعات العالية **: (HSS) يحتوي على نسب عالية من

التنغستن والموليبدنوم، مما ينتج عنه شرار قصير قاتم (أحمر داكن) ينتهي بكتل ثقيلة دون انفجارات كربونية واضحة.

الباب الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي وبروتوكولات التقسية

1. ### صلب السوست والتعليق (AISI 5160 / 6150)

*** دورة المعالجة الحرارية **: :

١. التسخين للأستنته عند نطاق $(840^{\circ}\text{C} - 870^{\circ}\text{C})$.

٢. التبريد المفاجئ في زيت ساخن $(60^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C})$ لتجنب الشروخ.

٣. الخفوض (Tempering) عند $(400^{\circ}\text{C} - 480^{\circ}\text{C})$ للحصول على مارتنزيت مخفف يمنح السوست مرونة فائقة وقدرة على الارتداد دون تشوه دائم.

2. ### صلب العدد والأسطمبات (AISI D2 / O1)

*** دورة المعالجة الحرارية:***

١. التسخين المسبق لتفادي الصدمة الحرارية.

٢. رفع الحرارة لـ $(1010^{\circ}\text{C} - 1040^{\circ}\text{C})$ لصلب (D2) لإذابة كربيدات الكروم. ($\mathbf{M}_{7}\mathbf{C}_{3}$)

٣. التبريد بالهواء المضغوط أو الساكن (Air-Hardening) لضمان
ثبات الأبعاد ومنع الاعوجاج، تليها خفوضة منخفضة عند
($150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$) للحتفاظ بصلادة
سطحية فائقة تتجاوز HRC.6٠

الباب الرابع: أسرار الورش والتحكم في العيوب والتشوه

1. ##### الوقاية السطحية ومعالجة Decarburization

*** عجينة الحماية الورشوية: ** لمنع هرب الكربون واحتراق السطح
الخارجي للمقطع أثناء التسخين في الأفران المفتوحة، تُطلى القطع
بمزيج من الطين المقاوم للحرارة والصابون البلدي ومسحوق الفحم
الخشبي، مما يشكل درعاً واقياً يعزل الأكسجين عن سطح المعدن.

2. ##### هندسة اتجاه الغطس وتفادي الاعوجاج

*** قاعدة الغطس الشاقولي: ** عند تسقية النصال أو الأجزاء الطويلة،
يجب إدخال القطعة في حوض الزيت أو الماء بصورة عمودية تماماً

(شاقولياً) وبحركة تقطيعية للأمام والخلف، لضمان تعرض الجانبين
لنفس معدل التبريد في اللحظة نفسها، مما يمنع انحناء المعدن أو التلتواء
الناجم عن تفاوت انكماش الأطوار.

اشرح بالتفصيل ولا تختصر

إليك شرحاً تفصيلياً وموسعاً يغطي الجوانب التقنية والمعدنية والورشوية
بدقة متناهية، كأنه فصول حقيقية مفصلة من مرجع هندسي متكامل:

#الباب الأول: علم المعادن وتحولات الأطوار) مخطط الحديد

والكربون(\$Fe-Fe_3C\$)

1. ## تفكيك ترموديناميك الأطوار والتحولات الحرارية

يعتمد فهم المعالجة الحرارية للصلب أساساً على دراسة مخطط التوازن
الثنائي للحديد والكربون. (\$Fe-Fe_3C\$) هذا المخطط ليس مجرد
رسوم بيانية، بل هو خريطة جغرافية لحالة الذرات وترتيبها البلوري بناءً
على درجة الحرارة ونسبة الكربون:

*** منطقة الأستنته الكاملة **: (\$Austenitization) عند تسخين الصلب وتجاوز الخط الحرّك (\$A_3\$) للفولاذ تحت الأوتيكثويدي و \$A_1\$ فوق الأوتيكثويدي)، تبدأ البنية المجهرية الأصلية (المكونة من الفيريت والبيرلايت) في الذوبان والاندماج الكامل. تتحول الشبكة البلورية من النظام المكعب مركز الجسم (BCC) الخاص بالحديد الفيريتي في درجات الحرارة العادية إلى النظام المكعب مركز الوجه (FCC) الخاص بحديد غاما أو الأستنتيت. هذا الطور يتميز بسعة فراغية واسعة بين ذراته، مما يتيح له إذابة نسب عالية من ذرات الكربون (تصل إلى ٢.٠٦٪ عند درجة ١١٤٧°م). هذه الخطوة هي نقطة البداية الإجبارية لأي معالجة حرارية تهدف للتصلد، إذ يستحيل تغيير بنية المعدن دون مروره بمرحلة الأستنته المتجانسة.

*** ميكانيكا التحول غير الانتشاري (Martensitic Transformation): **
عندما يتم تبريد الأستنتيت المتجانس بمعدل فائق السرعة يتجاوز "سرعة التبريد الحرجة (Critical Cooling Rate)، لا يُمنح الكربون أي فرصة للانتشار أو الخروج من الشبكة البلورية لتكوين جزيئات السمنتيت. هذا الحبس القسري لذرات الكربون

يؤدي إلى إحداث إجهاد ميكانيكي هائل وقسري للشبكة البلورية،
فتتحول قسراً ودون انتشار ذري (Diffusionless Shear Mechanism) إلى طور المارتنزيت (Martensite) ** يتميز
المارتنزيت ببنية بلورية رباعية الأوجه مركزة الجسم (BCT) ، وهي بنية
شديدة التوتر والصلادة، وتعتبر المسؤولة عن القدرة الفائقة للصلب على
مقاومة الخدش والقطع، لكنها في المقابل تكون بالغة الهشاشة.

#الباب الثاني: الهوية الميدانية واختبار الشرر (Spark Testing)

1. ## الفيزياء التطبيقية لاحتكاك المعادن وتفسير مسار الشرر

يُعد اختبار الشرر المهارة الميدانية الأولى للحداد والمهندس المحترف.
يعتمد على احتكاك عينة الصلب بحجر جليخ يدور بسرعة عالية (تصل
إلى سرعة خطية قياسية تبلغ نحو ٣٠ متراً في الثانية)، مما يولد طاقة
حكاية هائلة ترفع درجة حرارة الجسيمات المتطايرة إلى ما يفوق ١٠٠٠°م

لحظياً. هذا التسخين المفاجئ يؤدي إلى أكسدة واحتراق جزيئات الحديد والكربون المتطايرة في الهواء المحيط.

**** الفولاذ منخفض الكربون (Low Carbon Steels):** نظراً لضآلة نسبة الكربون، فإن الجسيمات المتطايرة لا تحتوي على نسبة كافية من الغازات القابلة للاحتراق الداخلي. نتيجة لذلك، يتطاير الشرر في خطوط مستقيمة وطويلة جداً (قد تتجاوز ٥٠ سم)، بلون أصفر فاتح نقي، وخالٍ تماماً من أي تفرعات أو انفجارات نجمية.

**** صلب السوست والعدد عالي الكربون (High Carbon & Spring Steels):** تحتوي هذه السبائك على نسب كربون مرتفعة (تبدأ من ٠.٦٪ وتتجاوز ١٪ في بعض أنواع صلب العدد). أثناء تطاير الجسيمات، يتفاعل الكربون المحبوس داخلها مع أكسجين الهواء محدثاً انفجارات مجهرية متتالية داخل الشرارة نفسها. يظهر ذلك بوضوح في شكل **** نجوم** متلاحقة ومكثفة وعنيفة ****** تتفرع بغزارة في النصف الثاني من مسار الشرارة، مع تحول اللون إلى برتقالي محمر عند الجذور.

*** صلب السرعات العالية **: (HSS) لوجود نسب هائلة من عناصر التنغستن والموليبدنوم، فإن الشرر يبدو قصيراً جداً، خافتاً، ومائلاً للون الأحمر الداكن أو البني القاتم، وغالباً ما ينتهي بكتل ثقيلة تتساقط دون حدوث أي انفجارات كربونية تقليدية.

#الباب الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي وبروتوكولات التقسية الهندسية

1. ## صلب السوست والتعليق (AISI 5160 / 6150)

*** الدور الوظيفي والسبائكي: ** تتعرض سوست السيارات والتركات لجهود انحناء متكررة وترددية هائلة. لتحقيق المرونة الفائقة والقدرة على الارتداد دون حدوث تشوه لدن دائم (Permanent Deformation)، يُستخدم فولاذ الكروم-فاناديوم. يمنح الكروم عمق تصلد ممتاز، بينما يعمل الفاناديوم على تنعيم الحبيبات البلورية ومنع تضخمها أثناء التسخين في الورشة.

*** دورة المعالجة الحرارية الدقيقة **:

١. الأستنته: تُسخّن السوستة ببطء لضمان تجانس الحرارة حتى

نطاق. ($840^{\circ}\text{C} - 870^{\circ}\text{C}$)

٢. التقسية: (Quenching) تُغمس الساخنة فوراً في حوض زيت

ساخن) بدرجة حرارة تتراوح بين 60°C

و 80°C . تجنب الماء هنا حتي لمنع حدوث شروخ

تدميرية ناتجة عن التبريد العنيف.

٣. الخفوض: (Tempering) تُسخّن القطعة فوراً بعد التقسية عند

درجة حرارة تتراوح بين 400°C

و 480°C . هذه الخطوة تحول المارتنزيت الهش إلى

"مارتنزيت مخفف (Tempered Martensite)"، وهو الطور الوحيد

القادر على منح السوست مرونتها الأسطوانية وصلابتها ضد الإجهاد.

2. ## صلب العدد والأسطوانات (AISI D2 / O1)

*** الدور الوظيفي والسبائكي: ** مخصص للمبارد، السكاكين الصناعية، وأطومات القطع التي تتطلب مقاومة فائقة للبري والاحتكاك الميكانيكي المستمر. يحتوي صلب (D2) على نسبة كروم تتجاوز ١١٪، مما يؤدي إلى تكوين شبكة كثيفة من كبريدات الكروم الصلبة ($\mathbf{M_7C_3}$) داخل المصفوفة.

*** دورة المعالجة الحرارية الدقيقة: **

***١. التسخين المرحلي: ** نظراً لغناها بالسبائك، تُسخّن المادة مسبقاً عند 550°C لتفادي الصدمة الحرارية، ثم ترفع لدرجة حرارة الأستنته النهائية التي تصل إلى 1010°C - 1040°C لضمان ذوبان الكبريدات الكثيفة.

***٢. التبريد الهوائي: ** (Air-Hardening) يتميز صلب (D2) بقدرته على التصلد بالهواء المضغوط أو الساكن، مما يمنع الاعوجاج وتغير الأبعاد مقارنة بالتبريد السريع بالزيت.

***٣. الخفوض المنخفض: ** تُجرى عملية الخفوض عند درجات حرارة منخفضة جداً تتراوح بين 150°C و 200°C ، للحفاظ على صلادة سطحية فائقة تتجاوز ٦٠ HRC دون المساس بمتانة العدة.

#الباب الرابع: أسرار الورش والمعالجة الميدانية للعيوب

1. ## الوقاية السطحية ومعالجة (Decarburization هرب الكربون)

أثناء عمليات التسخين في أفران الحدادة التقليدية المفتوحة، يتفاعل الأكسجين الموجود في اللهب مع ذرات الكربون الموجودة على السطح الخارجي للقطعة، مما يؤدي إلى هرب الكربون (Decarburization) وفقدان السطح لصلابته وقدرته على التقسية.

*** الحيلة الورشوية التقليدية: ** لكي يحمي الحداد نصل السكين أو العدة، يقوم بتحضير "عجينة واقية" مكونة من الطين المقاوم للحرارة (الصالصال)، مضافاً إليها نسب دقيقة من الصابون البلدي ومسحوق

الفحم الخشبي الناعم. تُطلى القطعة بالكامل بهذه العجينة وتجفف قبل إدخالها للنار. تشكل هذه الطبقة درعاً كيميائياً يعزل الأكسجين تماماً عن سطح المعدن طوال فترة التسخين، ويضمن بقاء نسبة الكربون السطحية كاملة ودون أي نقص.

2. ## هندسة اتجاه الغطس وتفادي الـ (Quenching Distortion)

تعتبر مشكلة انحناء النصال أو التواء الأعمدة أثناء التبريد المفاجئ من أكبر تحديات الورشة. يرجع ذلك إلى تفاوت معدل انكماش وتبريد أطراف القطعة مقارنة بقلبها أو تفاوت تعرض جانبي القطعة لوسط التبريد.

*** قاعدة الغطس الشاقولي: ** عند إدخال نصل طويل أو سكين في حوض الزيت أو الماء، يجب أن يتم النزول * بصورة عمودية تماماً (شاقولياً) ** وبحركة تقطيعية منتظمة للأمام والخلف داخل السوائل. هذا الإجراء يضمن تعرض جانبي النصل لتيار التبريد في اللحظة نفسها وبنفس الكثافة، مما يمنع الانحناء الجانبي الناتج عن التباين الحراري

اللحظي. وفي حال حدث طفيف للاتواء، يتم تصحيحه ميكانيكياً على الساخن فور الخروج من حوض التقسية وقبل بدء مرحلة الخفوض. إليك الهيكل التنظيمي والفهرس الشامل لفصول المرجع الهندسي، مرتباً ومنسقاً بدقة ليغطي كافة أبعاد الكتاب النظرية والتطبيقية:

فهرس المحتويات: فلسفة الأطوار وميكانيكا التبريد

مقدمة المرجع

* فلسفة الحديد والصلب: بين دقة الهندسة وحكمة الصنعة.

الباب الأول: البنية التحتية لعلم المعادن (مخطط الحديد والكربون)

الفصل الأول: خريطة الأطوار ودرجات الحرارة

* ترموديناميك وتطور الأطوار البلورية. (\$Fe-Fe_3C\$)

* التحليل المجهرى للأطوار الأساسية (الفيريت، الأستينيت، السمنتيت،

البيرايت، والليديريت).

*آليات التحول غير الانتشاري وتكوين المارتنزيت.

###الفصل الثاني: الهوية الميدانية واختبار الشرر (Spark
Testing)

*الفيزياء التطبيقية لاحتكاك المعادن وتوليد الحرارة اللحظية.

*تشرح مسار الشرارة والذيل والانفجارات النجمية.

*الدليل العملي لمقارنة أنواع الصلب) منخفض الكربون، صلب السوست،
وعدد السرعات العالية.(HSS)

*البروتوكول الورشوي لاختبار دقيق وخالٍ من المشتتات السطحية.--.

##الباب الثاني: علم السبائك وتطبيقاتها الهندسية

###الفصل الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي وتصنيفاتها

* صلب السوست والمرونة العالية (AISI 5160 / 6150) وتحمل

الإجهادات الترددية.

* صلب العدد والأسطوانات المقاوم للبري (AISI O1 / D2) وشبكات

كربيدات الكروم.

* أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل (٤٣٤٠ / ٤١٤٠) ومقاومة الصدمات.

* سبائك السرعات العالية (HSS) وظاهرة الصلابة على الساخن.

* السبائك الهندسية الخاصة: صابابات المحركات (21-4N) وفولاذ

البورون الزراعي. (30MnB5)

--

الباب الثالث: عمليات المعالجة الحرارية الأساسية

الفصل الرابع: التلدين والتخمير (Softening &

Annealing)

* دراسة مراحل الاسترداد وإعادة التبلور واسترخاء الإجهادات.

*بروتوكولات التلدين الكامل ودون الحرج ومعدلات التبريد المتحكم فيها.

*تقنيات الدفن الورشوي (الرماد، الجير الحي، والفحم) للقطع المعقدة.

الفصل الخامس: التقسية والتبريد المفاجئ (Quenching & Hardening)

*ميكانيكا كسر "أنف" المنحنى وحبس الكربون قسراً.

*هندسة أوساط التبريد (الزيوت، المياه، المحاليل الملحية، والهواء).

*تأثير ليدنبروست وكيفية كسر غلاف البخار المحيط بالقطعة الساخنة.

*القواعد العملية للغطس الشاقولي وتفادي التشوهات الحرارية اللحظية.

الفصل السادس: التراجع أو الخفوض (Tempering) ومعالجة

الهشاشة

*فيزياء تفكك المارتنزيت المشبع وإنتاج "المارتنزيت المخفف".

*مقياس ألوان قوس قزح السطحية كدليل حراري قياسي.

*الخفوض المزدوج والمتعدد وأهميته في استقرار البنية البلورية للعدد.

##الباب الرابع: أسرار الورش والمسبك الميدانية

####الفصل السابع: الحيل الهندسية والوقاية السطحية

*عجينة الطين والصابون البلدي لمنع هرب الكربون السطحي

(Decarburization).

*حمامات الأملاح والتحكم الدقيق في درجات حرارة التسخين.

* هندسة اتجاه الغطس، تسوية الاعوجاج على الساخن، وتطبيقات

التسقية المقطوعة (Martempering).

إليك تفصيل فصول الكتاب بكثافة هندسية وعلمية عالية، مصممة لتغطية

المادة المعرفية لكل فصل بما يعادل حجم وشمولية ٥ ورقات بحجم A4

(حوالي ١٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ كلمة لكل فصل)، لتربط بدقة بين فيزياء المعامل
وحكمة الورش:

--

#الباب الأول: البنية التحتية لعلم المعادن (مخطط الحديد والكربون)

##الفصل الأول: خريطة الأطوار ودرجات الحرارة

١. **. الأسس الترموديناميكية لسبائك الحديد والكربون-Fe (\$

Fe₃C\$):**

*دراسة تفصيلية لتغير التركيب البلوري للحديد النقي منذ درجة حرارة

الغرفة وحتى نقطة الانصهار (1538°C \$)، مروراً

بالتحولات الألتروبية من النظام المكعب مركز الجسم (BCC) إلى

المكعب مركز الوجه (FCC) ثم العودة لـ (BCC).

*تحليل التفاعل الأوتكتيكي عند درجة 1147°C \$

ونسبة كربون ٤.٣٪، والتفاعل الأوتكتويدي عند درجة

γ -Fe₃C ونسبة كربون ٠.٨٩٪، وكيف تشكل هذه النقطة المرجعية الأساس لكافة عمليات المعالجة الحرارية للصلب.

٢. التشريح المجهرى للأطوار الخمسة الأساسية:

الفيريت: α (محلول جامد فقير بالكربون) بحد أقصى ٠.٠٢٢٪ عند γ -Fe₃C، يتميز ببنية (BCC)، ومطيلية عالية، وفيرومغناطيسية واضحة.

الأستنيت: γ (محلول جامد متجانس في حديد غاما، ذو بنية (FCC) واسعة الفراغات تسمح بإذابة حتى ٢.٠٦٪ من الكربون، وهو المنصة الحرارية الإجبارية قبل أي تسقية ناجحة.

السمنتيت: Fe_3C (مركب بيني بنسبة ثابتة ٦.٦٧٪ كربون)، شديد الصلادة وبالغ الهشاشة، يمنح الصلب مقاومته للبري حين يتوزع بدقة.

***البرلايت: ** البنية الطبقة المتبادلة الناتجة من تفكك الأستنتيت
ببطء عند خط الأوتكتويد، وتتكون من شرائح متناوبة من الفيريت
والسمنتيت، مما يوازن بين الصلابة والمطيلية.

***الليديريت: ** الخليط الأوتكتيكي لحديد الزهر، ويتميز بشبكة
سمنتيتية هشة تحيط بجزر الأستنتيت المتحولة سابقاً.

***. الخطوط الحرجة ودورها التشغيلي: **

*شرح عملي لخطوط (A_1, A_3, ACM) وكيفية استخدامها لضبط
درجات حرارة الأستنتيه بدقة تامة لتفادي تضخم الحبيبات البلورية.

الفصل الثاني: الهوية الميدانية واختبار الشرر (Spark Testing)

***. فيزياء الاحتكاك والتحول البيرفورياتي: **

*تحليل ظاهرة توليد حرارة تفوق 1000°C لحظة تلامس عينة الصلب مع
حجر الجليخ بسرعة خطية (30 m/s) ، مما يسبب أكسدة
واحتراق جزيئات الحديد والكربون المتطايرة في الهواء.

***٢. تشريح مسار الشرارة**:(The Spark Anatomy)

*** جذر الشرارة **: (Streamer) دراسة اللون وطول الخط (تتجاوز ٥٠

سم في الصلب المنخفض الكربون وتنحسر في السبائك).

*** الذيل والانفجارات النجومية: ** تحليل ميكانيكية ضغط واحتراق غاز

أول وثاني أكسيد الكربون داخل الجسيمات المتطايرة، وتفسير تكوين

التفرعات والنجوم المكثفة في صلاب السوست والعدد.

***٣. الدليل العملي المعياري لأنواع الصلب **: :

* مقارنة بصرية دقيقة بين: الفولاذ الطري (خطوط مستقيمة خالية من

التفرعات)، فولاذ السوست (نجوم مكثفة ومتلاحقة)، صلب العدد

D2/O1، وصلب السرعات العالية) HSS شرار قصير قاتم ينتهي بكتل

حمراء ثقيلة بسبب التنغستن والموليبدينوم).

***٤. أصول الضبط الورشوي**:

* ضرورة إزالة طبقات الصدأ والدهان لتفادي قراءة الشرر الأحمر المضلل، وضبط الإضاءة المحيطة، وتوحيد ضغط اليد وثبات السرعة للحصول على قراءة ميدانية قاطعة

#الباب الثاني: علم السبائك وتطبيقاتها الهندسية

##الفصل الثالث: عائلات الفولاذ السبائكي وتصنيفاتها

***١. فولاذ السوست والمرونة العالية**:(AISI 5160 / 6150)

* دور الكروم في تعميق التضلد والفاناديوم في تنعيم الحبيبات البلورية، وكيف يحققان معاً حد خضوع فائق ومقاومة للتشوه الدائم تحت الأحمال الترددية لتعليق وسوست المركبات.

٢. فولاذ العدد والأسطوانات المقاوم للبري **: (AISI O1 / D2)

*دراسة تأثير النسبة العالية للكروم (أكثر من ١١٪) في صلب (D2) لتكوين كربيدات كروم صلبة ($\mathbf{M_7C_3}$) ، وتحقيق ثبات الأبعاد أثناء المعالجة الحرارية لأطوانات القص والتشكيل.

٣. أعمدة الكرنك وأذرع التوصيل **: (AISI 4340 / 4140)

*تحليل إضافة النيكل والموليبدنوم للقضاء على هشاشة التقسية وتوفير صلابة عميقة متجانسة للمقاطع السميكة المعرضة للإجهادات الترددية.

٤. سبائك السرعات العالية وبنط الثقب **: (AISI M2 / M35)

*تفصيل ظاهرة "الصلابة على الساخن (Hot Hardness) " الناتجة عن تداخل التنغستن والموليبدنوم والكوبالت للحفاظ على قطع حاد حتى عند بلوغ حد القاطع درجات حرارة حمراء.

٥**. السبائك الهندسية الخاصة**:

*صبابات المحركات الأوستنيتي (21-4N) المقاوم للأكسدة الحرارية،
وفولاذ البورون (30MnB5) المخصص لمقاومة الاحتكاك الكاشط للتربة
في الآلات الزراعية.

#الباب الثالث: عمليات المعالجة الحرارية الأساسية

##الفصل الرابع: التلدين والتخمير (Softening & Annealing)

١**. مراحل استرخاء البنية البلورية**:

*تفصيل ميكانيكي لمراحل الاسترداد (Recovery) ، إعادة التبلور (Recrystallization)، ونمو الحبيبات (Grain Growth) أثناء التسخين البطيء للصلب المجهد.

٢. بروتوكولات التلدين الكامل ودون الحرج:

*جداول زمنية لدرجات حرارة التسخين ومعدلات التبريد المتحكم فيها داخل الأفران لعزل الشوائب وتوحيد التركيب المجهرى قبل التشغيل الميكانيكي.

٣. تقنيات الدفن الورشوي التقليدي:

*هندسة العزل الحراري عبر الدفن في الرماد الساخن، الجير الحي، أو الفحم الخشبي لضمان معدل تبريد بطيء يمتد لأكثر من ٢٤ ساعة للمقطع ذات الهندسة المعقدة لمنع الالتواء.

الفصل الخامس: التقسية والتبريد المفاجئ (Quenching & Hardening)

١. ميكانيكا التحول المارتنزيتي غير الانتشاري:

*دراسة قص الشبكة البلورية (Shear Mechanism) عند كسر سرعة التبريد الحرجة، وحبس ذرات الكربون قسراً لتوليد بنية (BCT) شديدة التوتر والصلادة.

٢. هندسة أوساط التبريد وسرعاتها:

المياه والمحلول الملحي: تبريد عنيف وسريع لتعظيم الصلادة مع الحذر من الشروخ.

الزيوت المعدنية المعالجة: تبريد متدرج وآمن للسبائك الحساسة.

الهواء والغازات الخاملة: لسبائك التصلد الهوائي.

***٣. تأثير ليدنبروست (Leidenfrost Effect) والأسرار العملية**:

*شرح كسر غلاف البخار العازل المحيط بالقطعة الساخنة عبر التحريك
التقطيعي في حوض التبريد.

*قاعدة الغطس الشاقولي للقطع الطويلة والسكاكين لمنع الانحناء
الجانبى وتصحيحه على الساخن فور الخروج من الحوض.

الفصل السادس: التراجع أو الخفوض (Tempering) ومعالجة

الهشاشة

***١. فيزياء تفكك المارتنزيت المشبع**:

*دراسة خروج ذرات الكربون المحبوسة على شكل كربيدات دقيقة
مستقرة، وتحول المارتنزيت الهش إلى "مارتنزيت مخفف" يجمع بين
الصلابة العالية ومقاومة الصدمات.

٢. مقياس ألوان قوس قزح السطحية:

* جدول درجات الحرارة القياسي المرتبط بالألوان (الأصفر الفاتح للعدد عند ٢٠٠°م، البنفسجي للأقلام، والأزرق الداكن للسوست عند ٣٠٠°م - ٤٠٠°م).

٣. الخفوض المزدوج والمتعدد:

* أهمية تكرار دورات الخفوض خاصة في صلب HSS والعدد المعقدة (لتحويل الأستينيت المتبقي (Retained Austenite) ومنع تشقق القطع لاحقاً.

#الباب الرابع: أسرار الورش والمسابك الميدانية

##الفصل السابع: الحيل الهندسية والوقاية السطحية

**١. الوقاية من هرب الكربون السطحي (Decarburization

Protection)**:

*تركيبات العجائن الورشوية (طين مقاوم للحرارة، صابون بلدي، ومسحوق فحم) لعزل الأكسجين عن الحواف القاطعة أثناء التسخين في أفران الحدادة المفتوحة

٢. حمامات الأملاح والتحكم الدقيق:

*استخدام مخاليط نترات ونترت الصوديوم وكلوريد الباريوم لتوفير بيئة تسخين سائلة موحدة الحرارة تماماً وتقليل التشوهات الهندسية

٣. التسقية المقطوعة:(Martempering & Austempering)

* التطبيق العملي للخطوات الحرارية المتقطعة عبر نقل القطع إلى حمامات ملحية وسيطة عند درجات حرارة محددة لتفريغ الإجهادات الحرارية بالكامل قبل إتمام التحول المارتنزيتي أو البينيتي.

خاتمة المرجع

حين ننظر إلى خاتمة هذه الرحلة العميقة عبر دروب الفولاذ وأطواره الدقيقة، ندرك أن معالجة الصلب ليست مجرد تمرين صناعي جاف، ولا

هي مجرد علوم أكاديمية محبوسة بين دفتي المختبرات؛ بل هي **حوار
حي مستمر بين إرادة الإنسان، وحرارة النار، وبنية الذرات الصامتة.**
لقد بدأنا رحلتنا من الخريطة الكبرى لمخطط توازن الأطوار-Fe(\$
Fe_3C\$)، حيث تتشكل خبايا الفيريت، والأستنيت، والسمنتيت،
عابرين عبر شرارات الورشة ووجوهها الميدانية لنتلمس هوية المعدن
بمجرد احتكاكه بحجر الجليخ. وتوغلنا في عائلات السبائك الكبرى؛ من
سوست السيارات التي تتحدى الانحناء، إلى عدد الأطمبات التي تقهر
البري، وصولاً إلى دقة سبائك السرعات العالية ومقاومة صباغات
المحركات.

ولم نترك أسرار المعالجة معلقة؛ بل فككنا شفرات التلدين الحنون،
وهندسة التقسية السريعة التي تكسر غلاف البخار وتستعبد الكربون في
شبكة المارتنزيت القاسية، وصولاً إلى توازن الخفوض الدقيق الذي يمنح
النصل روحه المرنة ومقاومته للصدمات. وتوجنا ذلك بحيل ورشوية
أصيلة تحمي السطح وتصون الشكل من التشوه والانحناء بوعي هندسي
رفيع.

إن هذا الدليل الهندسي المتكامل ما هو إلا مفتاح لفتح الباب أمام عقلك وساعدك. فاحمل هذه المعرفة إلى سندانك ورشتك، وكن دائماً ذلك الحرفي والمهندس الذي لا يروّض الحديد بالنار وحدها، بل يدرك سره، ويستنطق طاقته الكامنة، ليخرج من بين يديه عمل يخلده الزمن ويحمل بصمة الإتيقان الأبدي.

وبالصنعة الدقيقة والعلم الرصين، يكتمل البناء.

###ظهر الكتاب (النبذة التعريفية الخلفية):

هل تساءلت يوماً عن السر الدقيق الذي يجعل نصل السكين يقهر الزمن أو يتكسر عند أول اختبار؟

هذا الكتاب ليس مجرد مرجع نظري في علم المعادن، بل هو جسر متين يربط بين دقة المعامل وحكمة الورش.

يأخذك هذا الدليل في رحلة عميقة لتفكيك خريطة الأطوار البلورية ومخطط توازن الحديد والكربون.

يضع بين يديك الهوية الميدانية للمعدن عبر أسرار اختبار الشرر وتحليل درجات السبائك المتقدمة.

يستعرض بصرامة هندسية عائلات الصلب الكبرى؛ من سوست السيارات والتركات إلى عدد الأطمبات وسبائك السرعات العالية.

يكشف لك بوضوح خبايا التقسية السريعة وكيفية كسر غلاف البخار لترويض ذرات الكربون داخل بنية المارتنزيت.

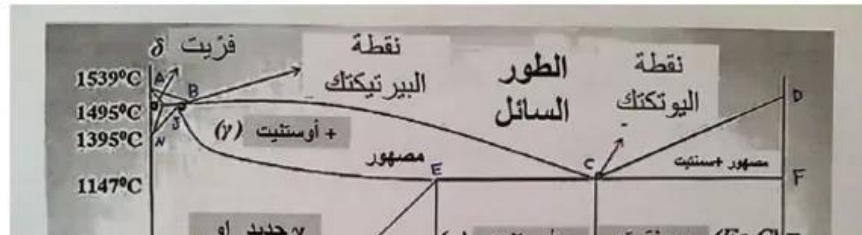
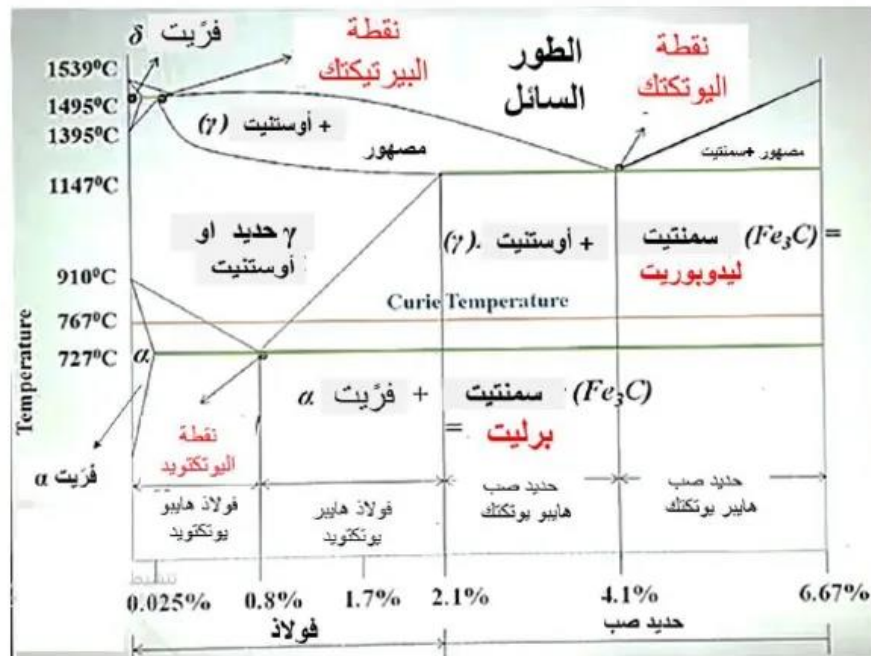
يوضح فلسفة الخفوض الدقيق لمعالجة الهشاشة وصنع التوازن المثالي بين الصلابة وقوة الصدمات.

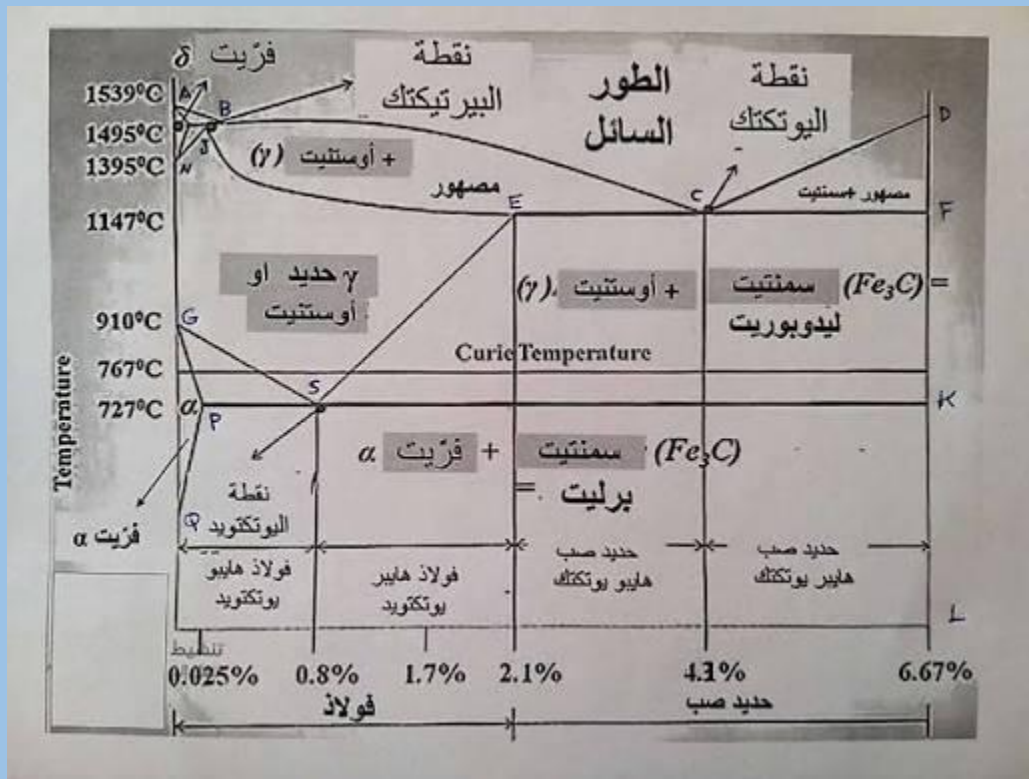
يزودك بحيل الورش الأصيلة من عجائن الحماية السطحية إلى هندسة الغطس الشاقولي وتفادي الاعوجاج.

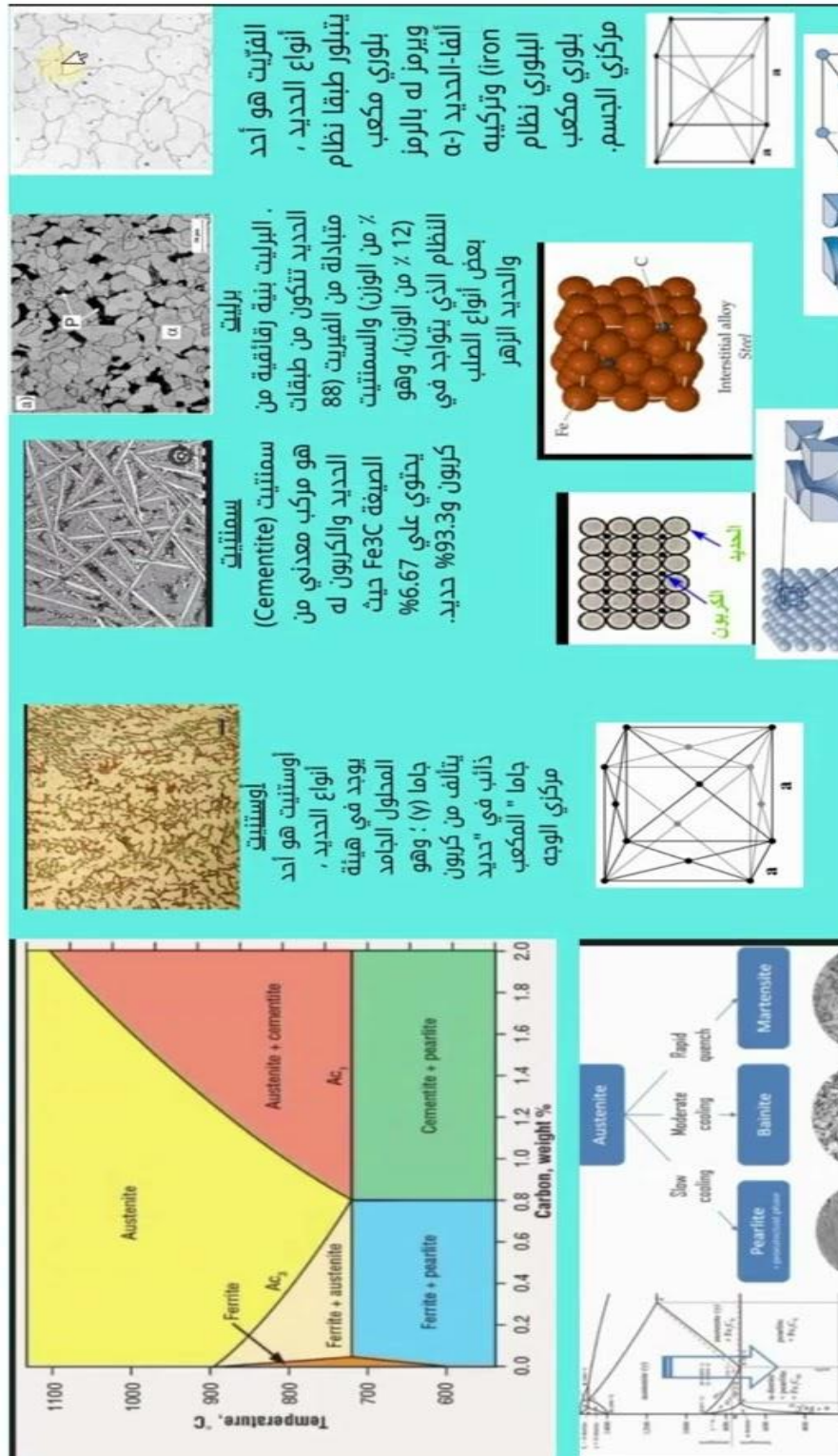
إنه خلاصة مئات السنين من تجارب "الأسطوات" وعلوم المهندسين في مرجع متكامل لا غنى عنه لكل صانع.

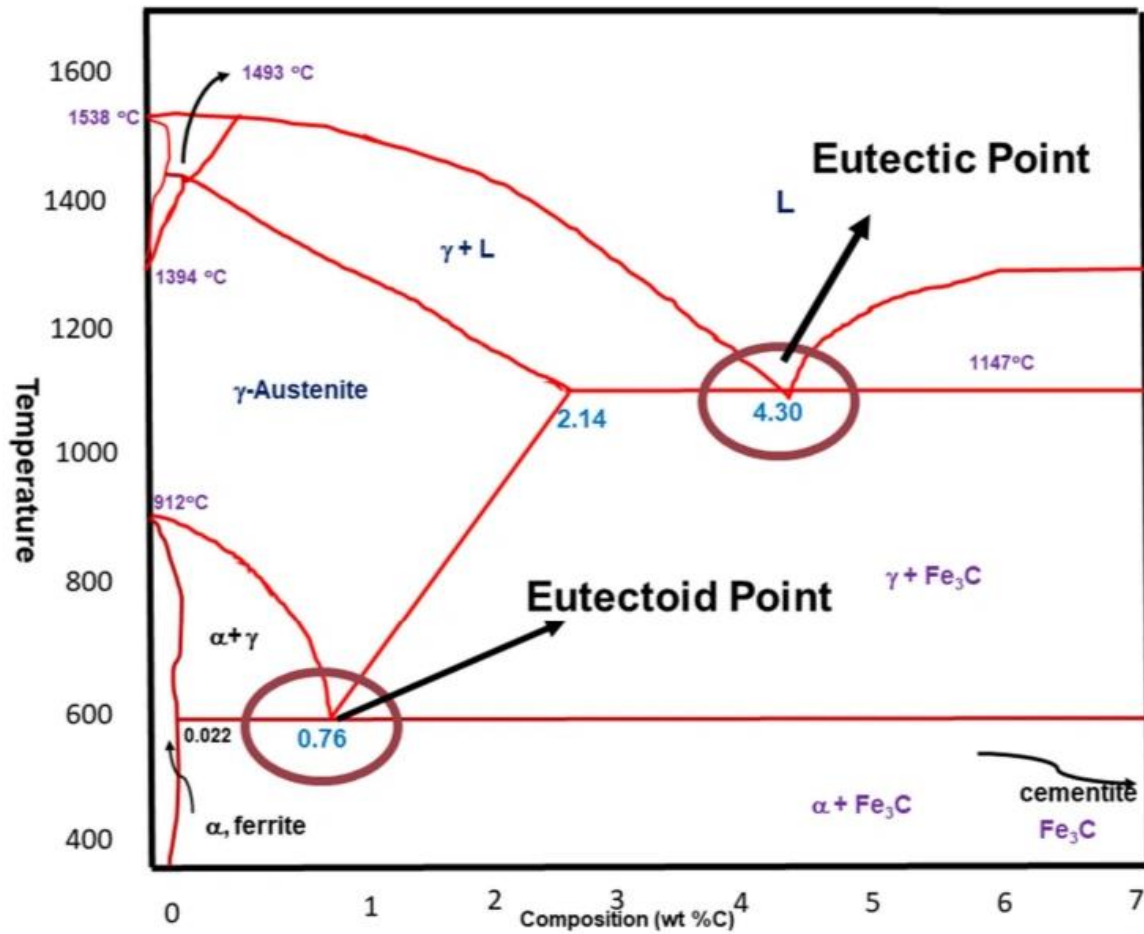
اصنع بيدك أداةً تحتمل أقسى الظروف، واستنطق طاقة الفولاذ الكامنة بمعايير الاحتراف المطلق.

مخطط الحديد كربون





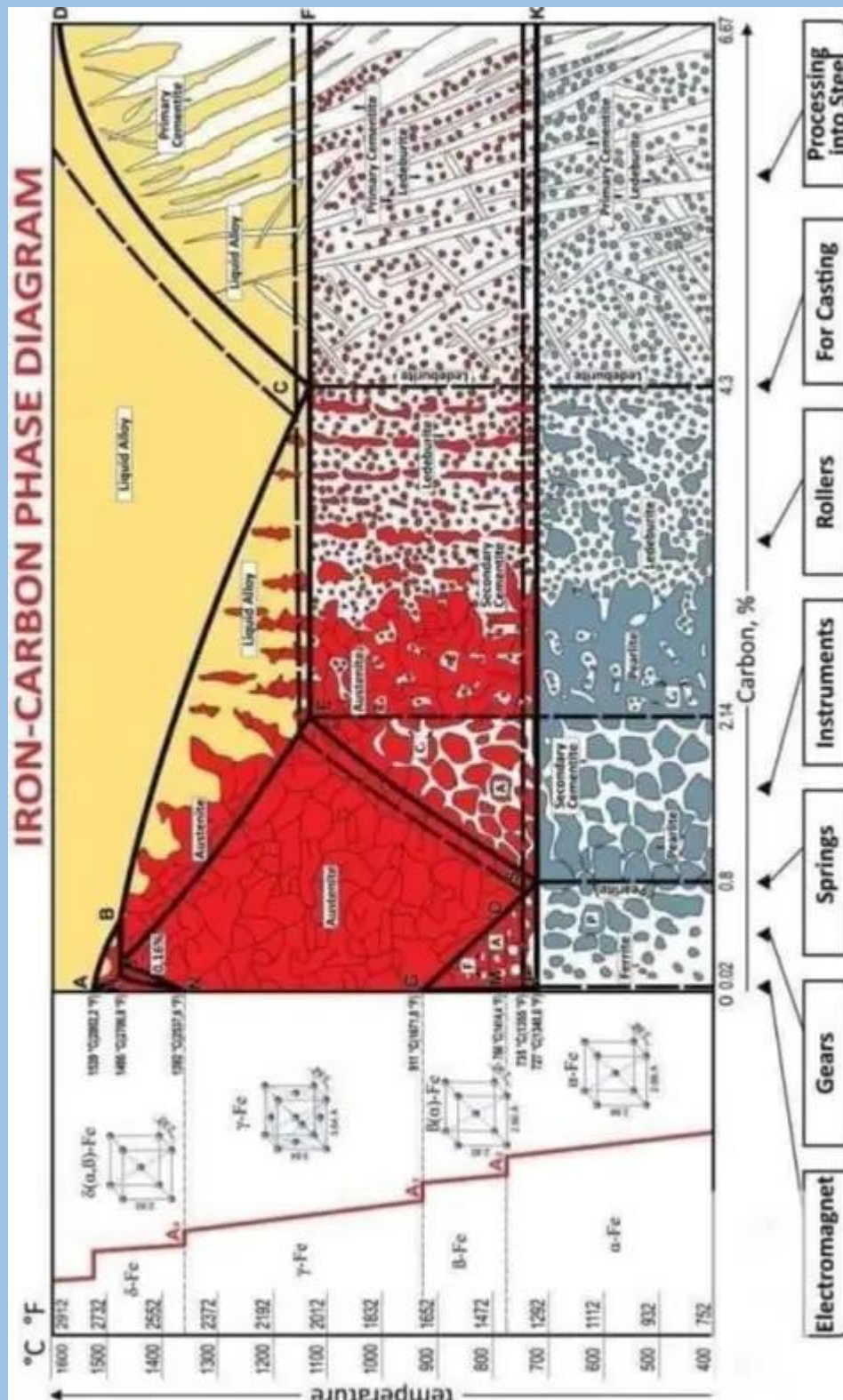




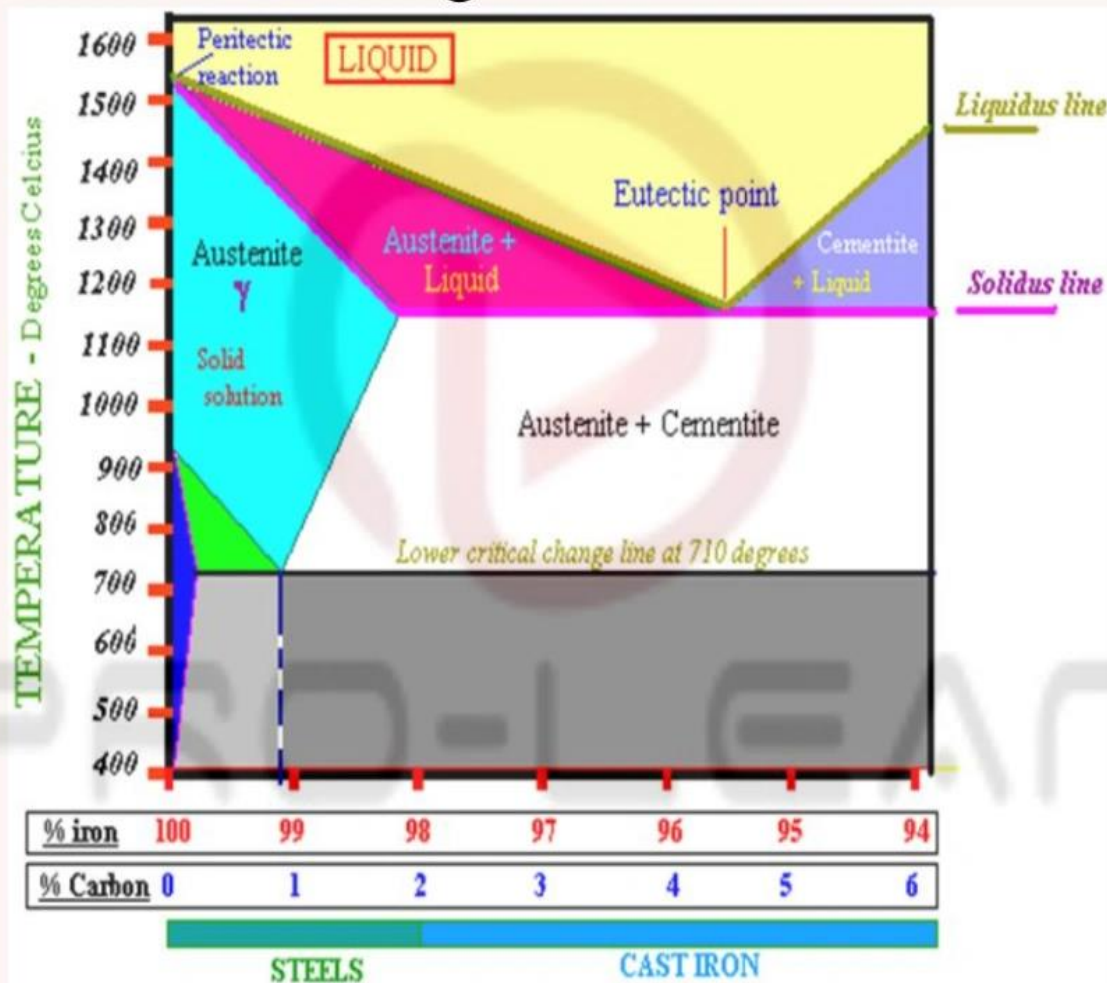
أحمد وياسين وعصام ... A.Y.E ... للألات الزراعية الحديثة

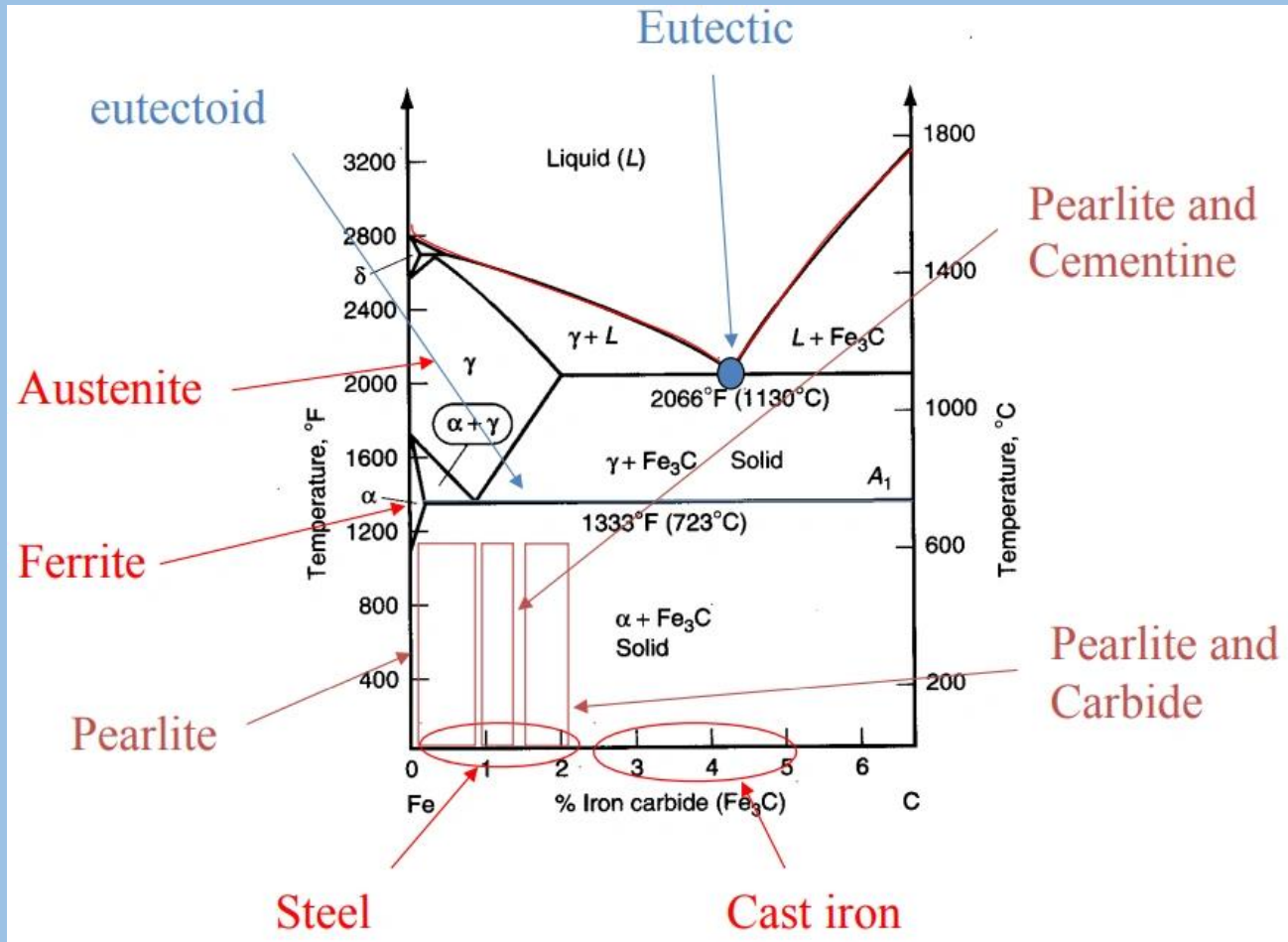


<https://www.youtube.com/watch?v=S6Efz5AMRXs>

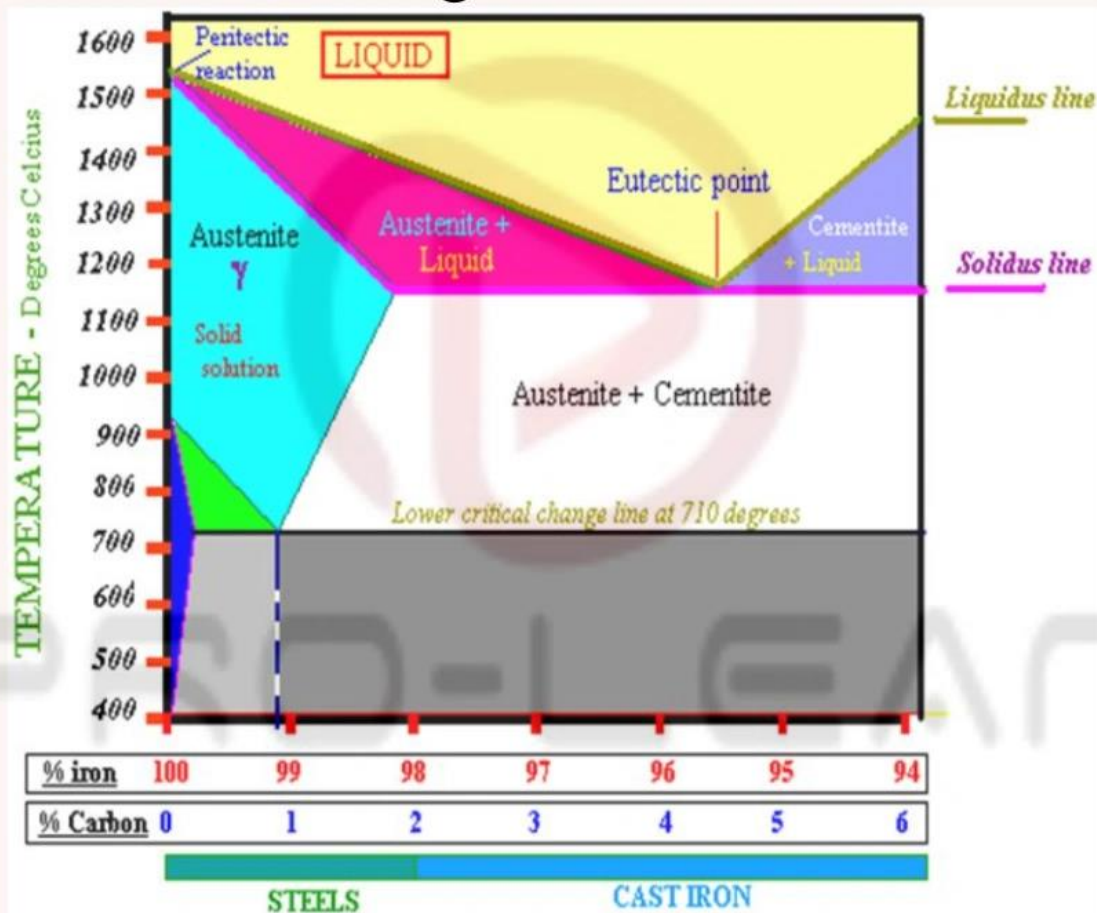


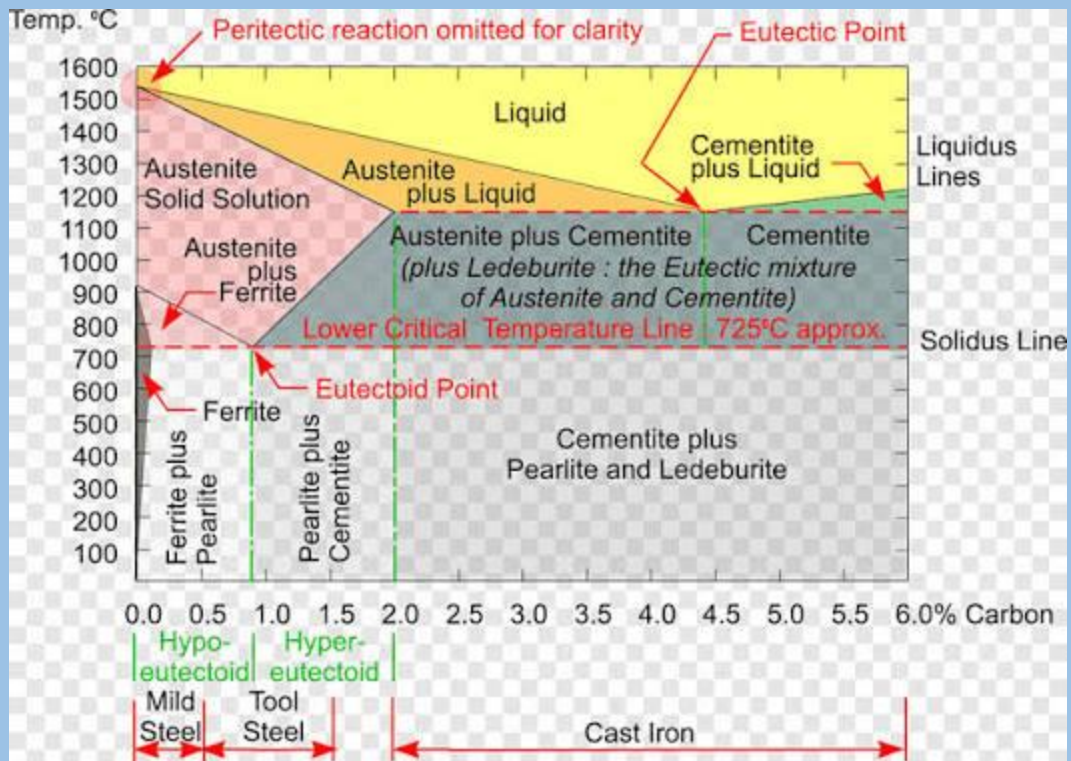
Iron-Carbon Phase Diagram: Its Meaning And Relevance

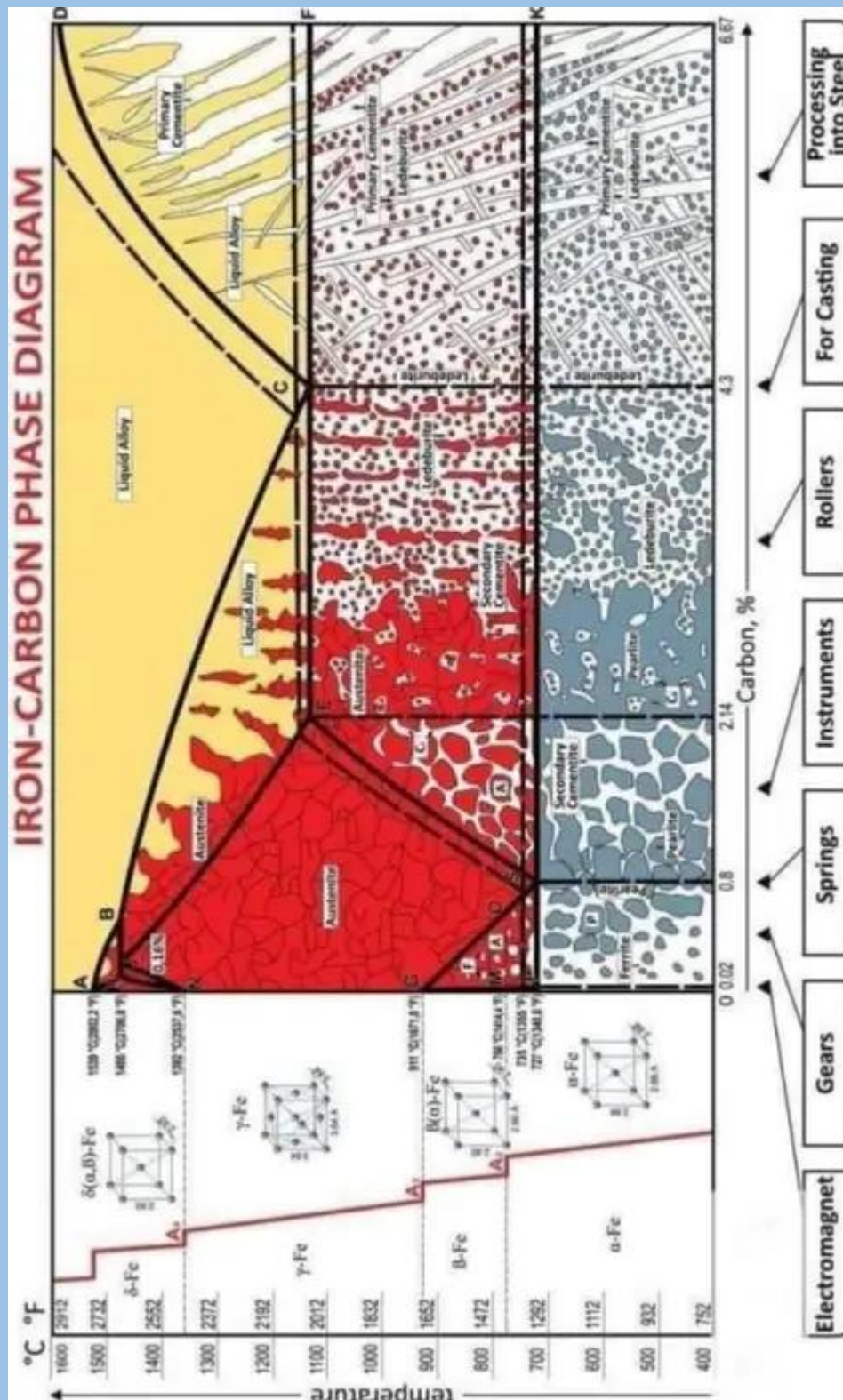


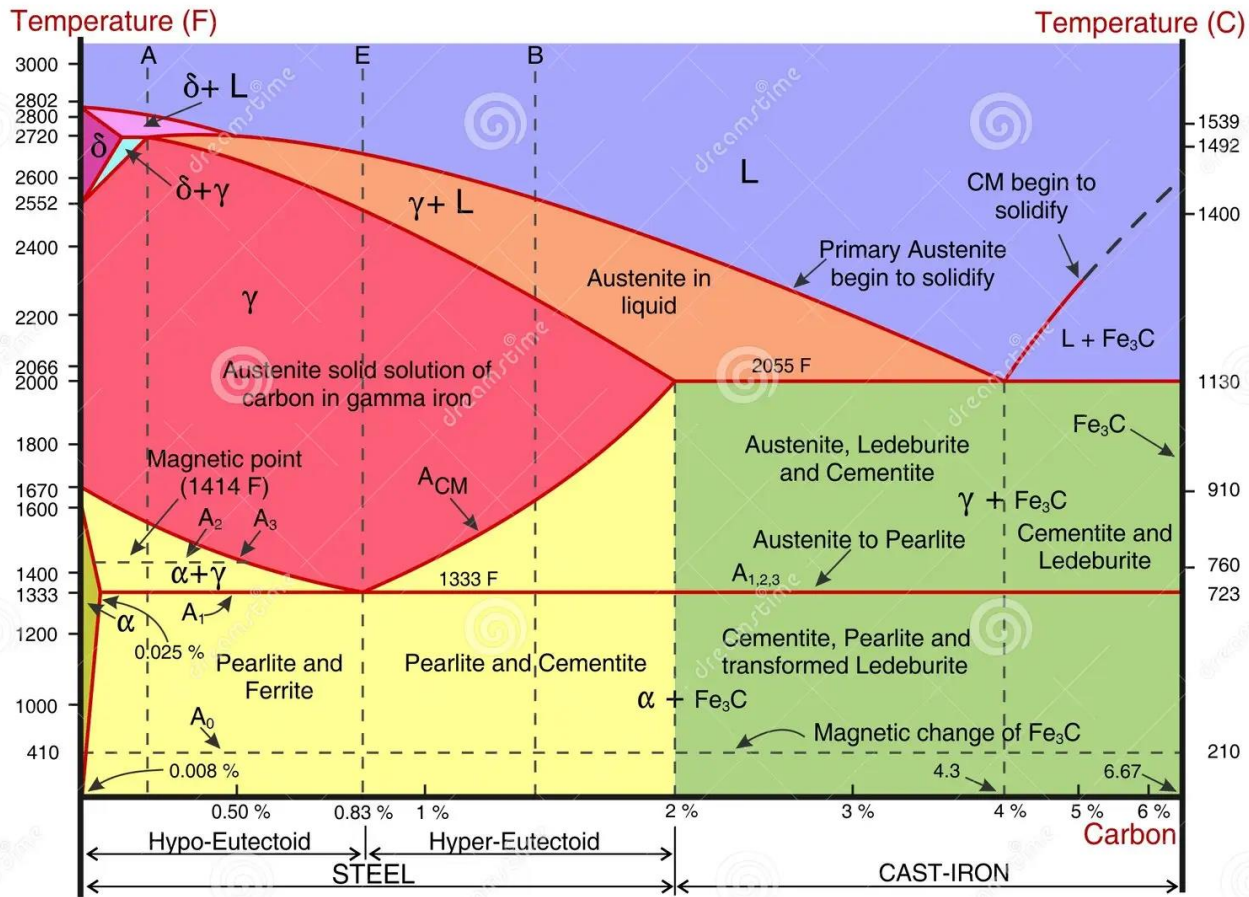


Iron-Carbon Phase Diagram: Its Meaning And Relevance



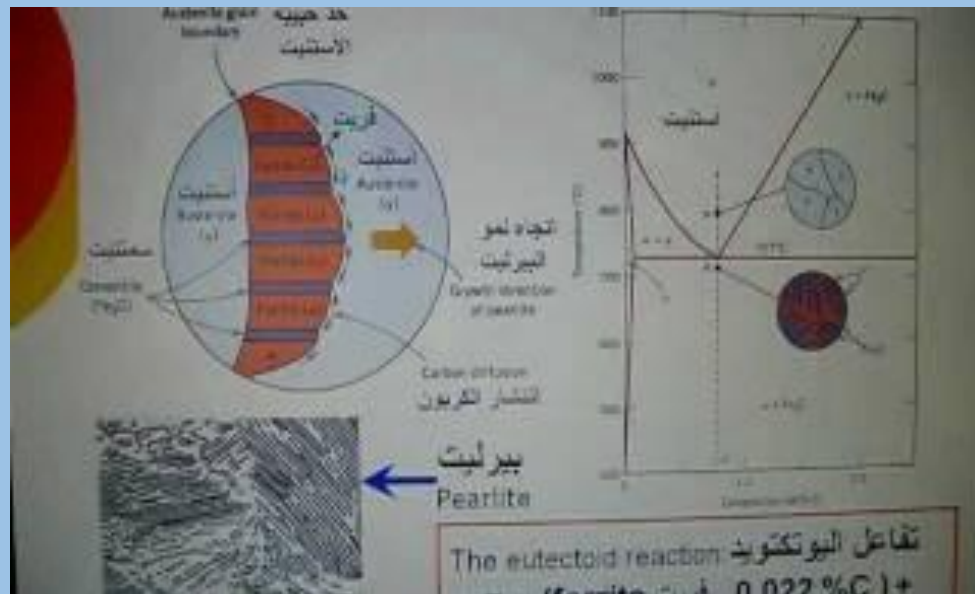






IRON-CARBON DIAGRAM

LEGEND
 δ - delta iron
 γ - austenite
 α - ferrite
L - liquid
CM - cementite



أحمد وياسين وعصام ... A.Y.E ... للآلات الزراعية الحديثة

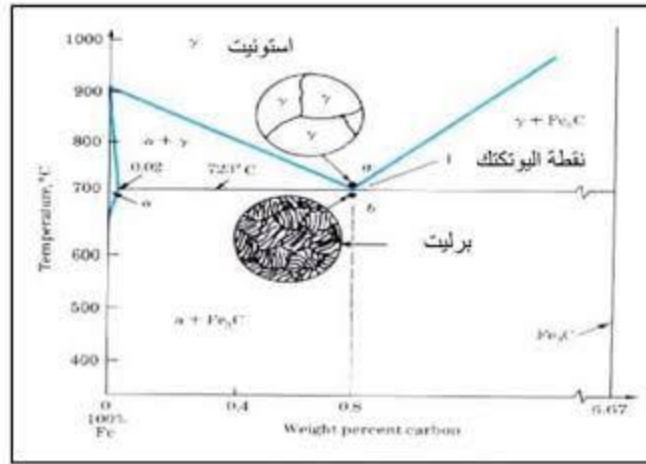
أقسام الفولاذ الكربوني والسبائكي:

- ١- حديد (Iron): وهو الذي يحتوي على نسبة كربون أقل من ٠,٠٠٨ %
- ٢- الصلب أو الفولاذ (Steel): ويحتوي على نسبة كربون تتراوح ما بين ٠,٠٠٨ - ٢,١١ %
- ٣- الحديد الزهر (Cast Iron): وتتراوح نسبة الكربون فيه ما بين ٢,١١ - ٦,٧ %
- ٤- الفولاذ السبائكي: هو الذي يحوي بالإضافة إلى الحديد والكربون عناصر سبائكية مثل النيكل والكروم وغيرها .
- ٥- حديد الزهر السبائكي: يحوي أيضا عناصر سبائكية مثل الكروم والنيكل وغيرها وتضاف هذه العناصر لحديد الزهر لتحسين خصائصه الميكانيكية.

البنية الدقيقة للفولاذ الكربوني:

١- التركيب اليوتكتويدي:

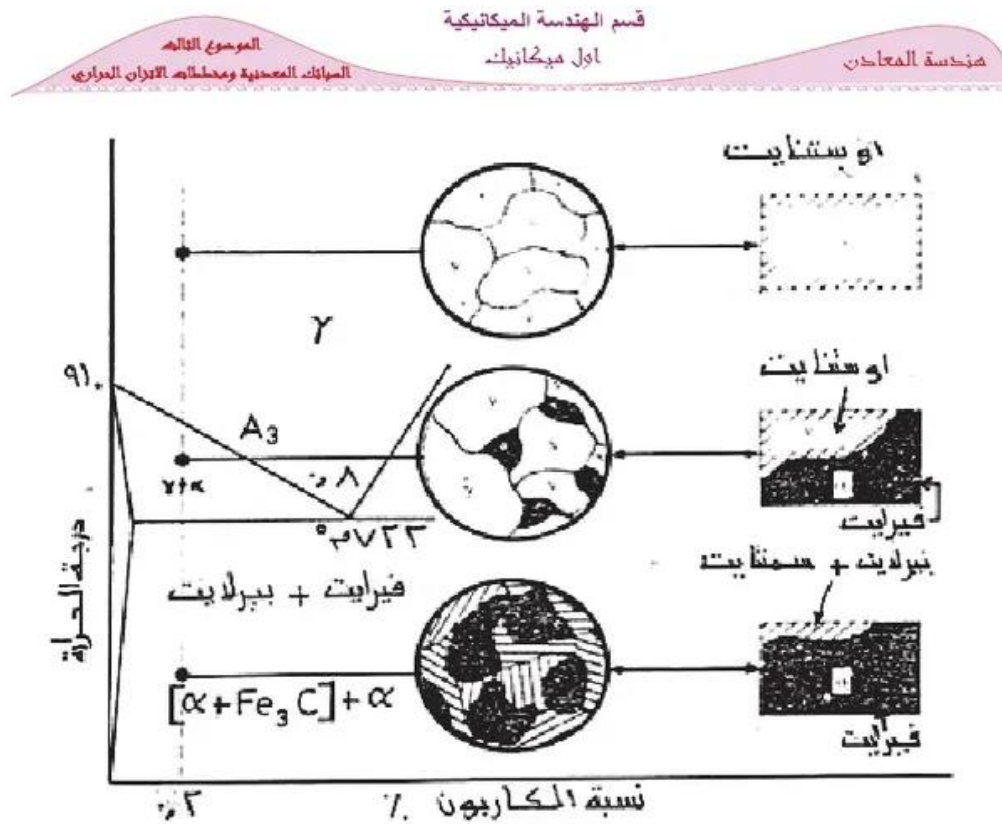
يبدأ من طور الاستونيت ثم ينتقل بالتبريد إلى البرليت (سمنتيت + فريت).



شكل (٣-٨) التركيب اليوتكتويدي

٢- التركيب تحت اليوتكتويدي:

ينتج عندما تكون نسبة الكربون أقل من ٠,٨٣ % ويبدأ من طور الاستونيت ثم يتكون الفريت أثناء عملية التبريد إلى أن نحصل على الفريت + البرليت تحت درجة الحرارة ٧٢٣ °م.



الشكل (25-3) مخطط الحديد - الكربون لسبيكة تحتوي 0.3% كربون

$$\alpha = \frac{0.8-0.3}{0.8-0} \times 100\% = 62.5\%$$

$$[\alpha + \text{Fe}_3\text{C}] = \frac{0.3-0}{0.8-0} \times 100\% = 37.5\%$$

مثال

تتركب بنية الفولاذ فوق اليوتكتويدي المحتوي على 1.2% كربون من $[\alpha + \text{Fe}_3\text{C}]$ والسمنتايت الثانوي ، المطلوب تحديد كمية $[\alpha + \text{Fe}_3\text{C}]$ وكمية السمنتايت الثانوي .

الحل

بالاستعانة بالرسم (26-3) وبتطبيق قاعدة الخراع نجد ان :

٦١