

الفصل الرابع: سبائك الحديد الشائعة (الفولاذ و الحديد الزهر)

1. تمهيد: يعتبر الفولاذ و حديد الزهر من المواد المعدنية الأكثر إستعمالا في مجالات كثيرة (الصناعة، التعدين، الميكانيك، الزراعة،... إلخ) و الأكثر شيوعا. لذلك إرتأينا أن نقوم في هذا الفصل بإبراز خصائص كل منها.

2. الفولاذ les-aciers:

يعد الحديد من المعادن المعروفة منذ زمن طويل، حيث تم إستخراجه و إستعماله منذ مئات السنين. لكن إنتشار الفولاذ بدأ من القرن التاسع عشر إنطلاقا من الفولاذ الكربونية (تمثل %90 من إنتاج الفولاذ). ثم ظهرت مجموعة من أنواع الفولاذ السبائكية: الفولاذ المسبكة قليلا (تحتوي على %5 من الكروم، النيكل... إلخ) و الفولاذ الصلبة للآلات (pour outillage) (مشوبة بكثرة بالكروم، الموليبدن، التنغستن، فانديوم و الكوبالت).

نحن نعلم حتى الآن التحولات التي تطرأ على الفولاذ و البنى المجهرية التي تتولد. في هذا الفصل نحاول جمع هذه المعلومات و نبرهن كيف نستعملها و نضفي على الفولاذ خصائص ميكانيكية معروفة.

من جهة أخرى يعتبر الكربون من العناصر الأقل تكلفة و الأكثر فعالية من أجل تقسية الحديد، و كما نعلم أيضا أن الكربون يضاف إلى الحديد بنسب متغيرة من %0.04 إلى %4 من أجل فولاذ ضعيفة أو متوسطة أو قوية لنسب الكربون، الخصائص الميكانيكية تتعلق في نفس الوقت بنسب الكربون و المعالجة الحرارية.

1.2. الفولاذ الكربونية:

1.1.2. البنى المجهرية الناتجة عن التبريد البطيء (Normalisation):

الفولاذ الكربونية يتغير شكلها عند درجات الحرارة العالية (عموما تكون مصفحة). ثم تبرد ببطيء حتى درجة حرارة الوسط (normalisés). البنية المجهرية توجد بالقرب من وضع الإتزان الذي يظهر مباشرة في الشكل (1-4) (بيان Fe-C).

الجدول-1- يبين قائمة الأطوار للنظام Fe-Fe₃C و الجدول -2- يبين البنى الأوتكتيكية و الأتكتويدية التي يمكن أن تظهر بالتبريد البطيء.

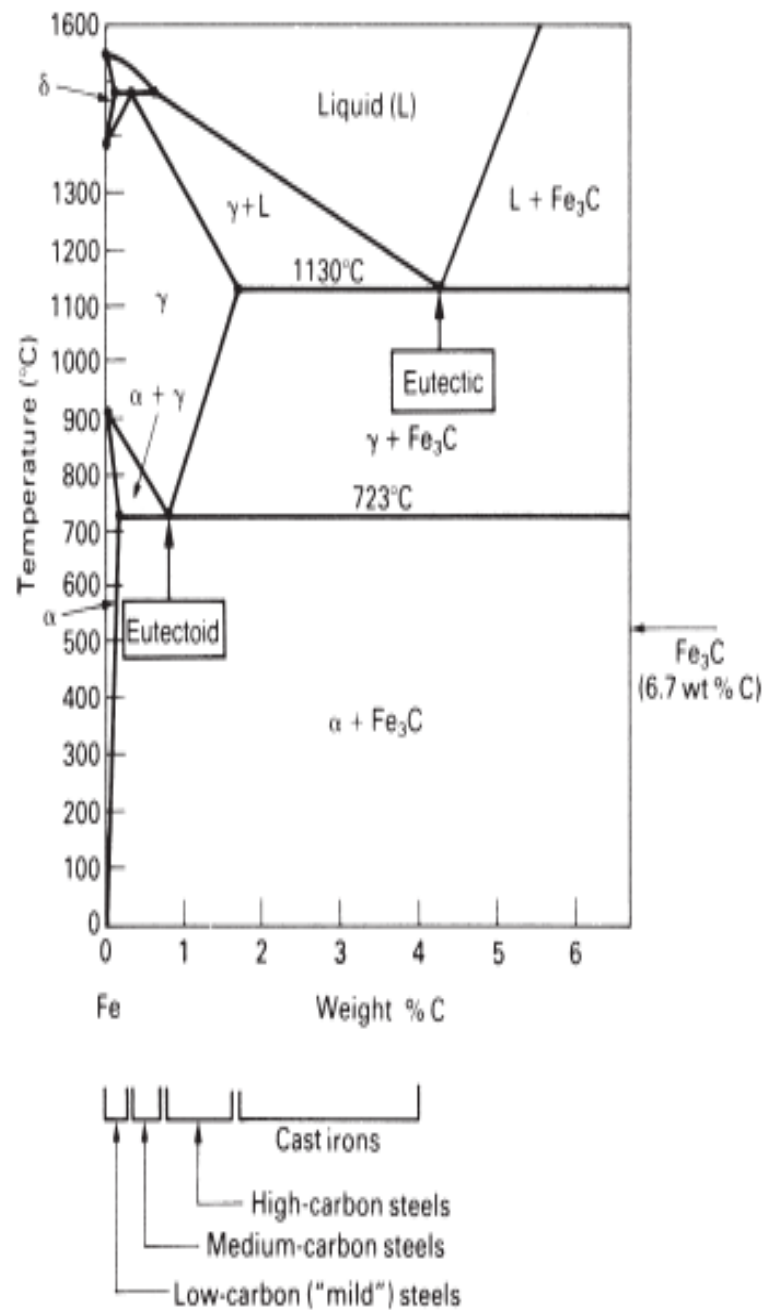


fig. (4-1) The left-hand part of the iron-carbon phase diagram. There are five phases in the Fe-Fe₃C system: L, δ, γ, α and Fe₃C (see Table 11.1).

الشكل 1-4

الجدول-1- أطوار النظام Fe-Fe₃C

الطور السائل	البنية	وصف و تفسيرات محلول صلب للكربون في الحديد Fe
δ	C.C	محلول صلب إنغراسي غير مرتب للكربون في الحديد C.C. الذوبانية القصوى في درجة الحرارة °C 1492 هي 0.08% (وزنا). الحديد δ هو الطور المستقر للحديد النقي بين درجتي الحرارة 1319 و °C 1536
γ (الأوستنيت)	C.F.C	محلول صلب إنغراسي غير مرتب للكربون في الحديد C.F.C. الذوبانية القصوى في درجة الحرارة °C 1130 هي 2.1% (وزنا). الحديد γ هو الطور المستقر للحديد النقي بين درجتي الحرارة 914 و °C 1391.
α (الفريت)	C.C	محلول صلب إنغراسي غير مرتب للكربون في الحديد C.C. الذوبانية القصوى في درجة الحرارة °C 723 هي 0.035% (وزنا). الحديد α هو الطور المستقر للحديد النقي تحت °C 910.
Fe ₃ C	معقد	مركب كيميائي معرف بالحديد و الكربون في الحديد و الكربون، صلب و سريع الكسر، يحتوي على 25 at% (6.67% وزنا) من الكربون.

الجدول -2- البنى ثنائية الطور المعقدة التي تظهر عند التبريد البطيء للسبائك Fe-C.

إسم البنية	وصف و تفسيرات
برليت Perlite	بنية معقدة أوتكتويدية تتكون من صفائح من α بالتناوب مع صفائح Fe ₃ C ناتجة عند تبريد الطور γ ب 0.77% (وزنا) من الكربون تحت °C 723. البرليت يظهر في حدود حبيبات (Joints de grains) الطور γ. و هو يظهر في الفوايذ بجميع نسب الكربون و في بعض الحالات غير الإعتيادية يدعى طور، إذا قمنا بمزج الطورين α و Fe ₃ C ب 88.5% من α و 11.5% من Fe ₃ C، الحبيبات مبدئيا متعددة البلورات (monocrystal)، من الخطأ التكلم عن حبيبات (grains) البرليت: نقول تشكل (colonies).
Ledèburite	بنية معقدة أوتكتكية تتكون من صفائح من γ متناوبة مع صفائح Fe ₃ C توجد عند التبريد 1130 °C لسائل على 4.3% (وزنا) من الكربون. هو أيضا ليس طور الليديبوريت (lédeburite) يظهر عند تبريد حديد الزهر. و كذلك في هذه الحالة الطور γ لليديبوريت تحت °C 723 يتحول Fe ₃ C + α.

الأشكال من (2-4) لغاية (6-4) توضح الإرتباط، بدلالة نسبة الكربون مع البنية المجهرية بدلالة درجة الحرارة، الشكل (2-4) يوضح الحالة الحدودية للحديد النقي. أين الطور γ يبرد تحت درجة حوالي 914 °C، حبيبات الطور α تظهر عند الحدود البنية (ausc joints) و البنية تتحول إلى الطور α. إذا قمنا بتبريد فولاذ بتركيب أوتكتويدي (C 0.77%) تحت درجة حرارة حوالي °C 723 حبيبات البرليت (Perlite) تنمو عند حدود الحبيبات (شكل 3-4) و البنية المجهرية تصبح كليا برليت.

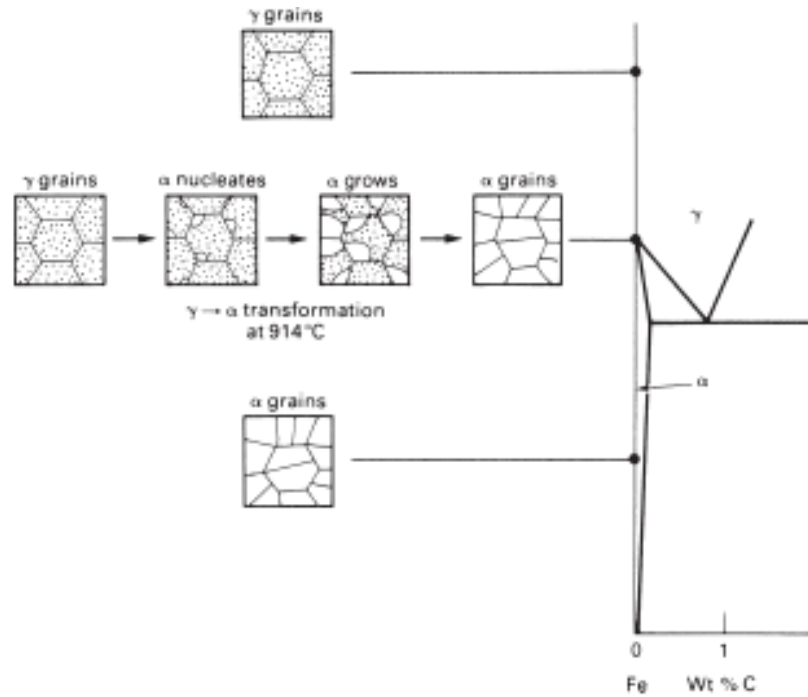


fig. (4-2) Microstructures during the slow cooling of pure iron from the hot working temperature.

الشكل 2-4

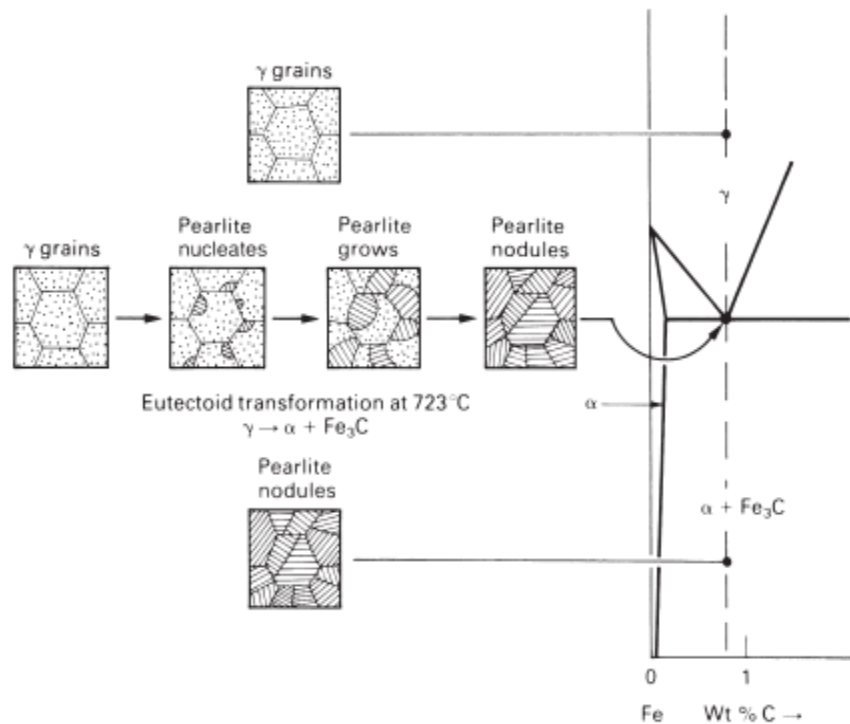


fig. (4-3) Microstructures during the slow cooling of a eutectoid steel from the hot working temperature. As a point of detail, when pearlite is cooled to room temperature, the concentration of carbon in the α decreases slightly, following the $\alpha/\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ boundary. The excess carbon reacts with iron at the $\alpha\text{-Fe}_3\text{C}$ interfaces to form more Fe_3C . This "plates out" on the surfaces of the existing Fe_3C plates which become very slightly thicker. The composition of Fe_3C is independent of temperature, of course.

الشكل 3-4

في حالة فولاذ هيب أوتكتويدي (يحتوي على أقل من 0.77 % من C) يتحول إلى المجال ثنائي الطور ($\alpha+\gamma$) شكل (4-4). الطور α الابتدائي يظهر على حدود γ و ينمو أول بأول. و بقياس الفولاذ المبرد من A_3 حتى A_1 فعند A_1 الطور γ يبقى (التركيب الأوتكتويدي). يعطى ضرورة البرليت، البنية المجهرية إذن تتشكل من α (أولى) و البرليت، في حالة الفولاذ الفرط أوتكتويدي (أكثر من 0.77 % من C)، إذن البنية في درجة الحرارة العادية تتشكل من Fe_3C أولي و برليت شكل (4-5). الشكل (4-6) يوضح الاطوار المتواجدة و نسبتها الكتلية المئوية بدلالة تغير تركيز الكربون عند درجة حرارة الغرفة.

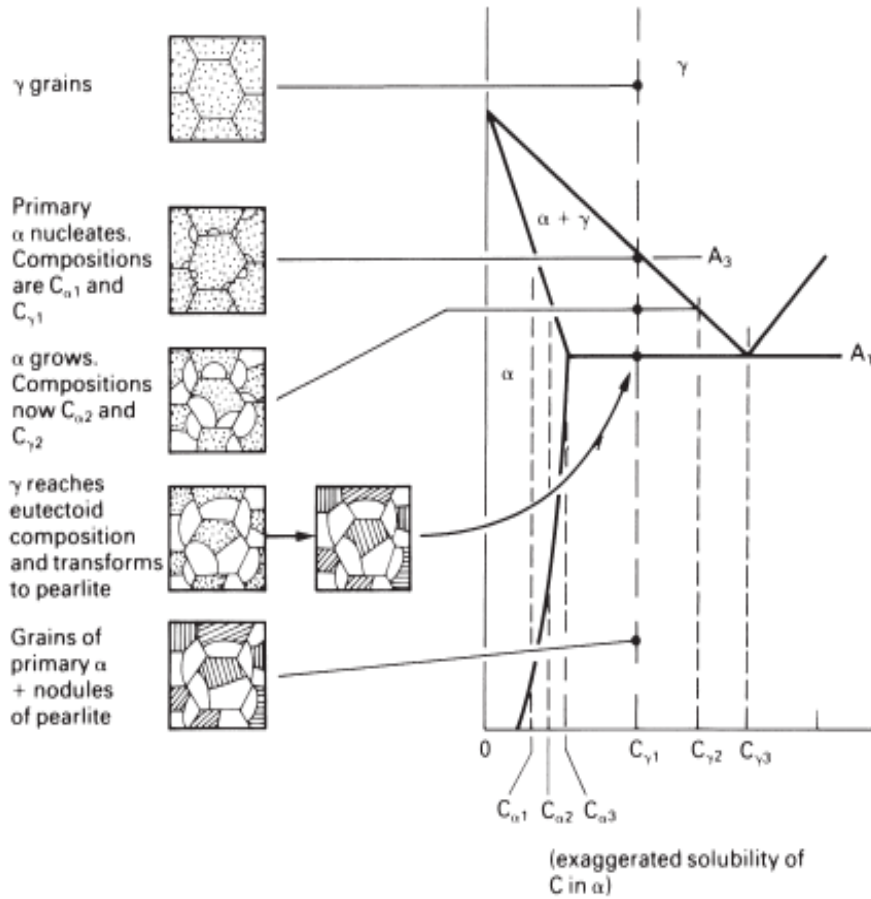


fig. (4-4) Microstructures during the slow cooling of a hypoeutectoid steel from the hot working temperature. A_3 is the standard labelling for the temperature at which α first appears, and A_1 is standard for the eutectoid temperature. Hypoeutectoid means that the carbon content is below that of a eutectoid steel (in the same sense that hypodermic means "under the skin!").

الشكل 4-4

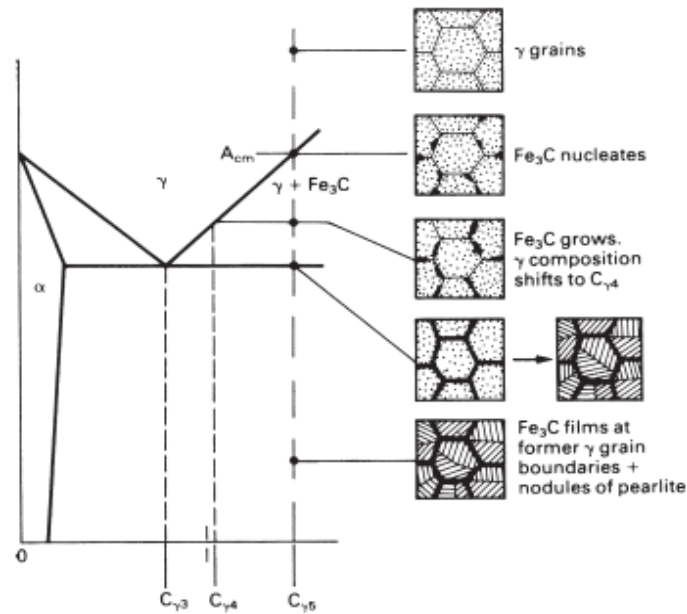


fig. (4-5) Microstructures during the slow cooling of a hypereutectoid steel. A_{cm} is the standard labelling for the temperature at which Fe_3C first appears. *Hypereutectoid* means that the carbon content is above that of a eutectoid steel (in the sense that a hyperactive child has an above-normal activity!).

الشكل 5-4

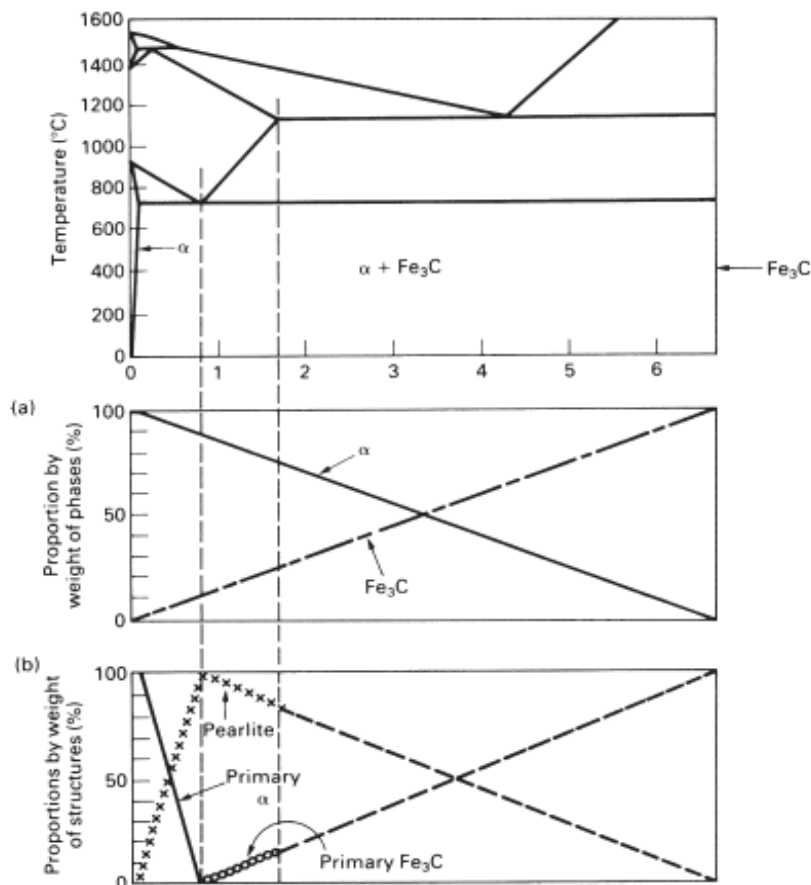
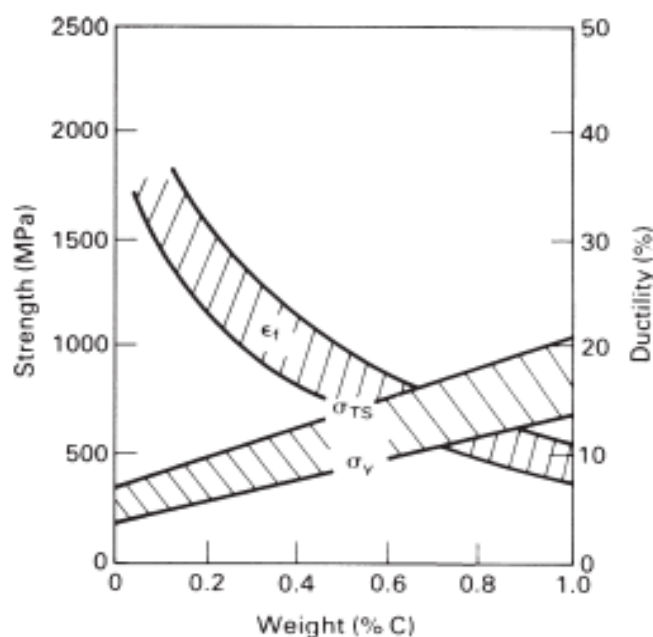


fig. (4-6) Room temperature microstructures in slowly cooled steels of different carbon contents. (a) The proportions by weight of the different phases. (b) The proportions by weight of the different structures.

الشكل 6-4

2.1.2. الخصائص الميكانيكية للفولاذ الكربوني:

الشكل (7-4) يوضح كيف تؤثر نسبة الكربون على الخصائص الميكانيكية للفولاذ الكربوني. حدود المرونة و مقاومة الشد تزداد خطياً مع تزايد نسبة الكربون، إذن Fe_3C يلعب دور التقسية، و نسبته هي دالة خطية بالنسبة لتركيز الكربون (شكل 7-4) من جهة أخرى اللدونة تتناقص بسرعة أين نسبة الكربون تزداد (شكل 7-4)، هذا لأن سطوح $Fe_3C-\alpha$ للبرليت هي عبارة عن مواقع للتشققات (التصدعات) السهلة (fissuration facile).



الشكل 7-4

2.2. الفولاذ الكربوني:

(Association Française de Normalisation AFNOR) تسمى فولاذ غير سبائكي، الفولاذ التي تحتوي على عناصر إضافية لا تتعدى النسب التالية:

P	S	P+S	Si	Mn	Si+Mn	Ni	Cr	Mo	V	W	Co	Al	Ti	Cu	Pb
0.12	0.10	0.2	0.1	1.2	2	0.5	0.25	0.10	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.10

ندعو فولاذ سبائكي كل مادة حديدية تحتوي على 1.9% أو أكثر من الكربون و تستطيع أن تحتوي على عناصر أخرى بنسب أقل أو تساوي ل:

- 15% من الفوسفور ← فولاذ فوسفوري fontes phosphoreuses
- 8% من السيليسيوم ← فولاذ سيليسيوم fontes siliceuses
- 30% من المغنيز ← فولاذ فوسفوري fontes spiegels
- 40% من التنغستن ← فولاذ مسبك بالتنغستن fontes allieès aux tungstene
- 30% من الكروم ← فولاذ مسبك بالكروم fontes allieès aux chrome
- 10% مجموع من عناصر أخرى (Mo, V, S, Ti, Al, Cu, Ni)ss

3. حديد الزهر les fontes:

يطلق عموماً اسم حديد الزهر (fonte) على السبائك حديد-كربون، أين نسبة الكربون تتراوح بين 2.1 % إلى غاية 6.7%، تطبيقياً حديد الزهر يحتوي على حوالي 3 إلى 4% من الكربون، 92% حديد و الباقي عناصر أخرى (سيليسيوم، منغنيز، فوسفور، سوفر)، كتقريب أولي حديد الزهر يمكن أن يعتبر كفولاذ يحتوي على زيادة من الكربون على شكل سمنتيت (حديد زهر أبيض) أو غرافيت (حديد زهر رمادي) و بالمقارنة مع الفولاذ حديد الزهر له خصائص ميكانيكية ضعيفة نسبياً، و يستعمل غالباً في السباكة (fondrie) بسبب:

- درجة حرارة تجمده واطئة نسبياً
- مجال تجمده صغير
- تقلصه الضعيف عند التبريد

العناصر المضافة لها تأثير أيضاً على نسب حديد الزهر و تسمح بإيجاد أنواع خاصة لحديد الزهر بمقاومة عالية:

○ السيليسيوم: حتى نسبة 3% هو العنصر المسؤول عن إيجاد حديد الزهر الرمادي (role graphitisant) بين 5 إلى 7% للسيليسيوم، نجد حديد زهر خاص بمصفوفة فيريتيّة (matrice feritique) بمقاومة جيدة حتى 800 °C.

○ النحاس له أيضاً تأثير غرافيتي (graphitisant) في التجميد، و لكن فعاليته تساوي خمس فعالية السيليسيوم، و بالعكس، النحاس له دور ضد فريتي طاقبي (antiferitsant) في أثناء التبريد عند إجتياز المجال الأوتكتويدي، نهمل بهذا الشكل السمنتيت الحر (point très dur) و الفريت الحر (point douce) أفضل نسبة للنحاس من رتبة 1 إلى 2%.

○ النيكل يعتبر عنصر غرافيتي (graphitisant) جيد مقارنة مع النحاس و لكن قدرته ضد الفريتية مهملة. الصفات المهملة لحديد الزهر هي كونه أكثر إنصهارا و ميوعة من الفواليد، و عموما لا يعتبر لين و لا قاس (لايكون لين قبل الإنصهار).

1.3. أنواع حديد الزهر:

1.1.3. حديد الزهر الأبيض: يميز حديد الزهر الأبيض بنسبة كربون و سيلسيوم ضعيفة، و نسبة عالية من المنغنيز، مبدئيا حديد الزهر هذا لا يحتوي على الغرافيت (يكون مكان الكسر بهيئة معدنية بيضاء مما يبرهن إسمه). يتكون من البرليت (perlite) و السيمنتيت (cémentite):

○ حديد زهر هبط أوتكتيكي: ليدبوريت+برليت+سمنتيت (lèdeburite+perlite+cementite)

○ حديد زهر فرط أوتكتيكي: ليدبوريت +سمنتيت أولي (lèdeburite+ cementite I)

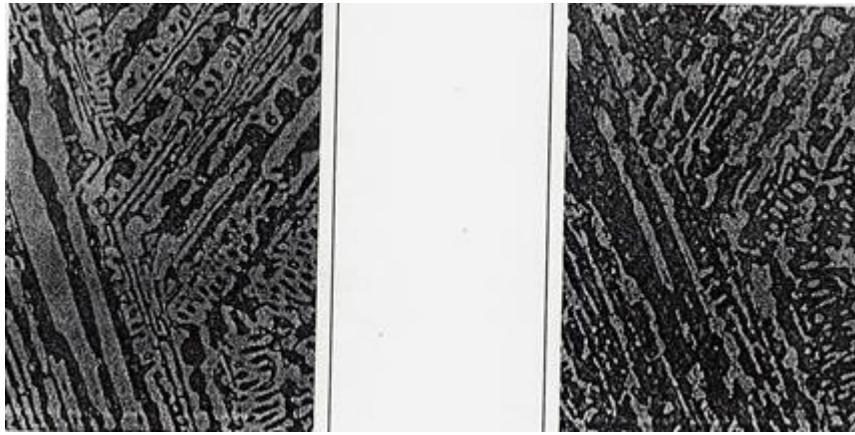
المميزات الفيزيائية المتوسطة لحديد الزهر الأبيض (fontes blanches brutes de coulée)

- كثافته الحجمية : $7.5-7.8 \text{ g/Cm}^3$.
 - معامل التمدد من 0 إلى 300°C : من 9 إلى 11.
 - مقاومة كهربائية: $80 \mu\Omega \text{ cm}$
 - مقاومة الشد: $200 \leftarrow 400 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
 - مقاومة الكبس (الضغط): $1500 \leftarrow 1800 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
 - مقاومة المرونة: $168.000 \leftarrow 183.000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
 - مقاومة الثني (الإلتواء): $350 \leftarrow 750 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
 - صلابة Brinell $300 \leftarrow 500$
 - التقلص الناتج عن القولية (الصلب): $13 \leftarrow 21 \text{ (mm/m)}$
- و الأشكال: 4-8، 4-9، 4 توضيح البنية لحديد الزهر الأبيض الهبط اوتكتيكي و الفرط أوتكتيكي.

إستخدامه: الأسطوانات المصفحة (صقالة الورق: Cylindre de laminoirs) فك المدق (machiars de concasseurs)، عجلة wagon... إلخ



الشكل 4-8 البنية المجهرية لحديد الزهر الأبيض الهبط أوتكتيكي

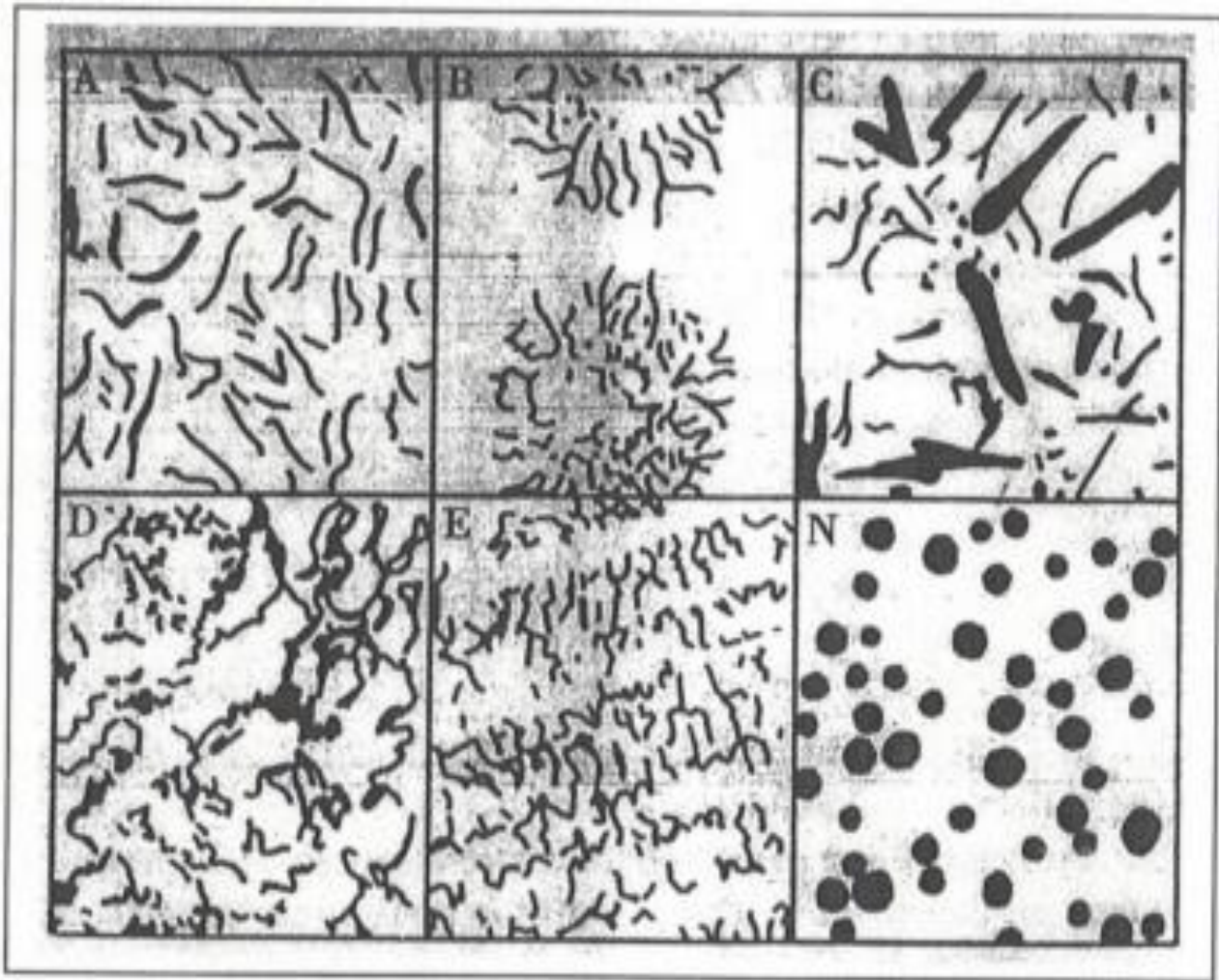


الشكل 4-9 البنية المجهرية لحديد الزهر الأبيض فرط أوتكتيكي

2.1.3. حديد الزهر الرمادي: مثل حديد الزهر الأبيض تسمية حديد الزهر الرمادي، كناية على لون مكان الكسر التي تكون رمادية بوجود الكربون الحر.

مبدئياً: نسمي حديد زهر رمادي كل سبيكة تتجمد كلياً في نظام مستقر، هذا يوافق أن التجميد يبدأ من النقطة 'C' (الموضحة في الفصل الأول: المخطط التام)، إذن حسب النظام المستقر، و لكن ينتقل بعد ذلك إلى نظام شبه مستقر مع تشكل، اللديبوريت (lébèburite) في C. حديد الزهر الرمادي مثل، حديد الزهر الأبيض لهما عموماً خصائص ميكانيكية ضعيفة، خاصة الإستطالة و مقاومة الضغط الضعيفتين جداً، و هذا ناتج عن وجود السمنتيت الحر في حديد الزهر الأبيض إذن وجود صفائح (lamelles) الغرافيت في حديد الزهر الرمادي و هذه الصفائح موجهة في جميع إتجاهات الفضاء.

حسب أنواع الغرافيت سريع التأثير، و المترسب بسبب التجميد: الغرافيت الصفائحي (lamellaire) و الغرافيت الكروي شكل (4-10).



الشكل 4-10

-نوع A: غرافيت بصفائح موزعة بانتظام و باتجاهات غير مرتبة

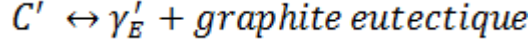
-نوع B: غرافيت بورايدات (en rodtes)، في اتجاهات غير مرتبة.

-نوع C: غرافيت يحتوي على صفائح مختلفة الحجم و غير مرتبة الإتجاهات

-نوع D: غرافيت graphire interdendrique.

-نوع E: غرافيت graphire interdendrique d'orientation privilégiée .

و بالنتيجة خصائص حديد الزهر الرمادي، تتغير في حدود عريضة جدا، في الواقع بنية هذه السبيكة معقدة جدا و تعرف بمكونات المصفوفة المعدنية (*matrice métallique*) و بأبعاد و شكل و توزيع جسيمات الغرافيت. في حالة حديد زهر رمادي هبط أوتكتويدي هناك قبل كل شيء راسب من الأوستنيت الأولي، ثم في $1135\text{ }^{\circ}\text{C}$ التفاعل الأوتكتيكي:



و في الواقع آلية التجمد أكثر تعقيدا، يظهر السمنتيت الأوتكتيكي و الذي يتفكك بعد ذلك. من 1135 إلى $738\text{ }^{\circ}\text{C}$. يتجمد الكربون في الأستنيت. و هناك طرد للكربون على شكل غرافيت ثانوي أو سمنتيت ثانوي و الذي يستطيع أن يتفكك جزئيا.

غالبا ظاهرة إبعاد (طرد) الكربون لاتتم حتى $738\text{ }^{\circ}\text{C}$ و بالمثل تتوقف ظواهر تفكك السمنتيت الأوتكتيكي.. كل هذه الظواهر تتم بحركات بطيئة طالما درجة الحرارة منخفضة.

من خلال كل هذا، إذا كان هناك إنتقال من بيان Fe-C إلى بيان Fe-Fe₃C، التفكك ممكن أن يستنتج من يمين أو من يسار النقطة الأوتكتويدية S.

ملاحظة: فوسفور الحديد (phosphore de fer) Fe₃P يمكن أن يترسب عند تجميد حديد الزهر عندما تكون نسبة الفوسفور (phosphore) أكبر من 0.07% (تبريد سريع). هذا المركب دائما مرئي، حينما تتجاوز نسبة الفوسفور القيمة 0.2% فوسفور الحديد هذا يكون مصحوب بالسمنتيت غالبا. و هذين الطورين يشكلان مع الأوستنيت خليط أوتكتيكي ثالثي بنقطة إنصهار واطئة تدعى Steadite. لأشكال: 11-4 و 12-4 توضح بعض البنى المجهرية لحديد زهر رمادي. الخصائص الميكانيكية لحديد الزهر الرمادي تتعلق و بقدر كبير بكمية و بشكل الغرافيت.

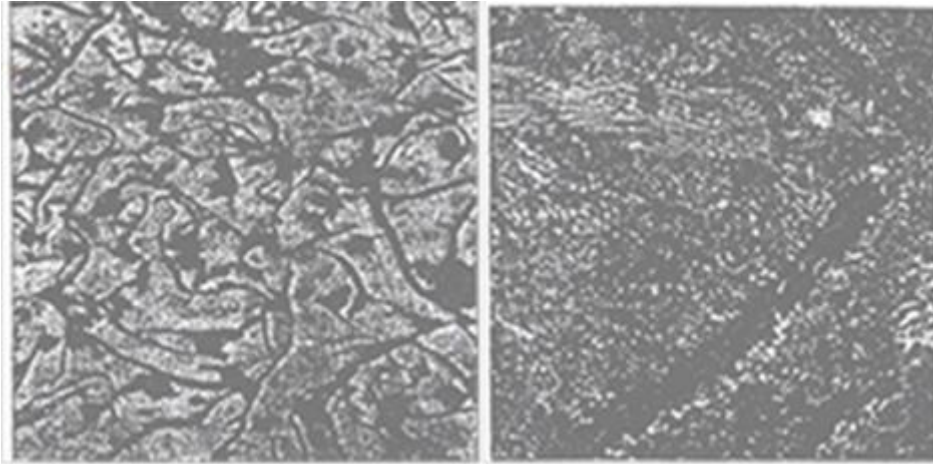
3.1.3. حديد الزهر الأرقش *la fonte truitée*:

يمكن الحصول عليه بالإنتقال من بيان الغرافيت إلى بيان السمنتيت عند التجميد. إذن هو عبارة عن مزيج من حديد الزهر الأبيض و حديد الزهر الرمادي، يتميز بوجود الغرافيت و السمنتيت الأولي في آن واحد (أو الغرافيت و السمنتيت الأوتكتيكي).

4.1.3 حديد الزهر ذو الغرافيت المتكور: لقد قلنا أن حديد الزهر الرمادي سريع الكسر بسبب المقاومة الضعيفة للغرافيت الصفائحي الذي يتشكل منه. و كذلك من أجل تحسين المقاومة الميكانيكية لحديد الزهر الرمادي، نضيف عناصر مثل: Mn, Cr, Ni أو نبحت لتحسين تأثير الغرافيت لنحصل على بنية بغرافيت متكور.



الشكل 11-4



الشكل 12-4

- في 1946: (Morrogh et Williams) وجدا وسيلة لتغيير بنية الغرافيت المترسب، نتيجة تجمد حديد الزهر الرمادي بفعل السريوم (cerium) المضاف إلى السبيكة السائلة.
- في 1947: (Millis Gagebin) و آخرين إستعملوا المغنزيوم (Magnesium) بإضافته إلى حديد الزهر السائل بواسطة سبيكة (نيكل-مغنزيوم) و هي نفسها الطريقة المستعملة اليوم.

- يحتوي حديد الزهر هذا على: 3.2←3.6% كربون

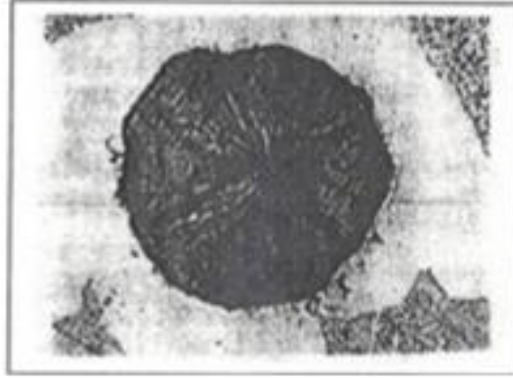
1.8←3% سيلسيوم.

0.3←0.4% مغنزيوم.

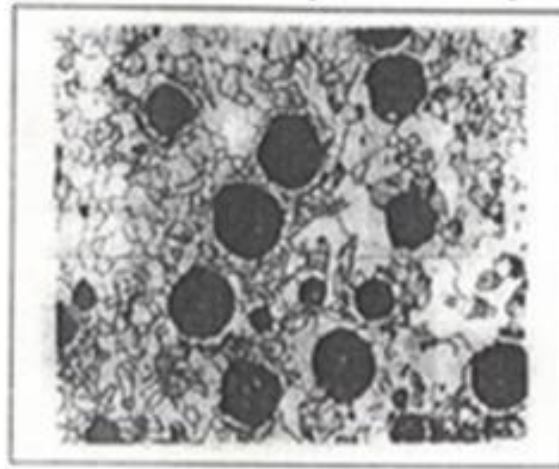
0.05 % فوسفور.

إدخال السيلسيوم (حتى 3 % تقريبا) يزيد من القدر الغرافيتية لحديد الزهر السائل و كذلك المغنزيوم (حتى 0.07 % تقريبا) يلعب دور كابت (مانع) لمدة قصيرة يؤخر التشكل الأولي للغرافيت.

في حال حديد الزهر ذو الغرافيت المتكور يعطى بنية برليتية، فيريتية، أو سمنتيت حر. تتميز بمقاومة ميكانيكية و صلابة أكبر بكثير منها لحديد الزهر الرمادي المألوف. الشكل 4-13 و الشكل 4-14.



الشكل 4-13



الشكل 4-14

الخاتمة

يقول سبحانه و تعالى: ~...وأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعٌ لِلنَّاسِ... ~ الآية 25 من سورة الحديد

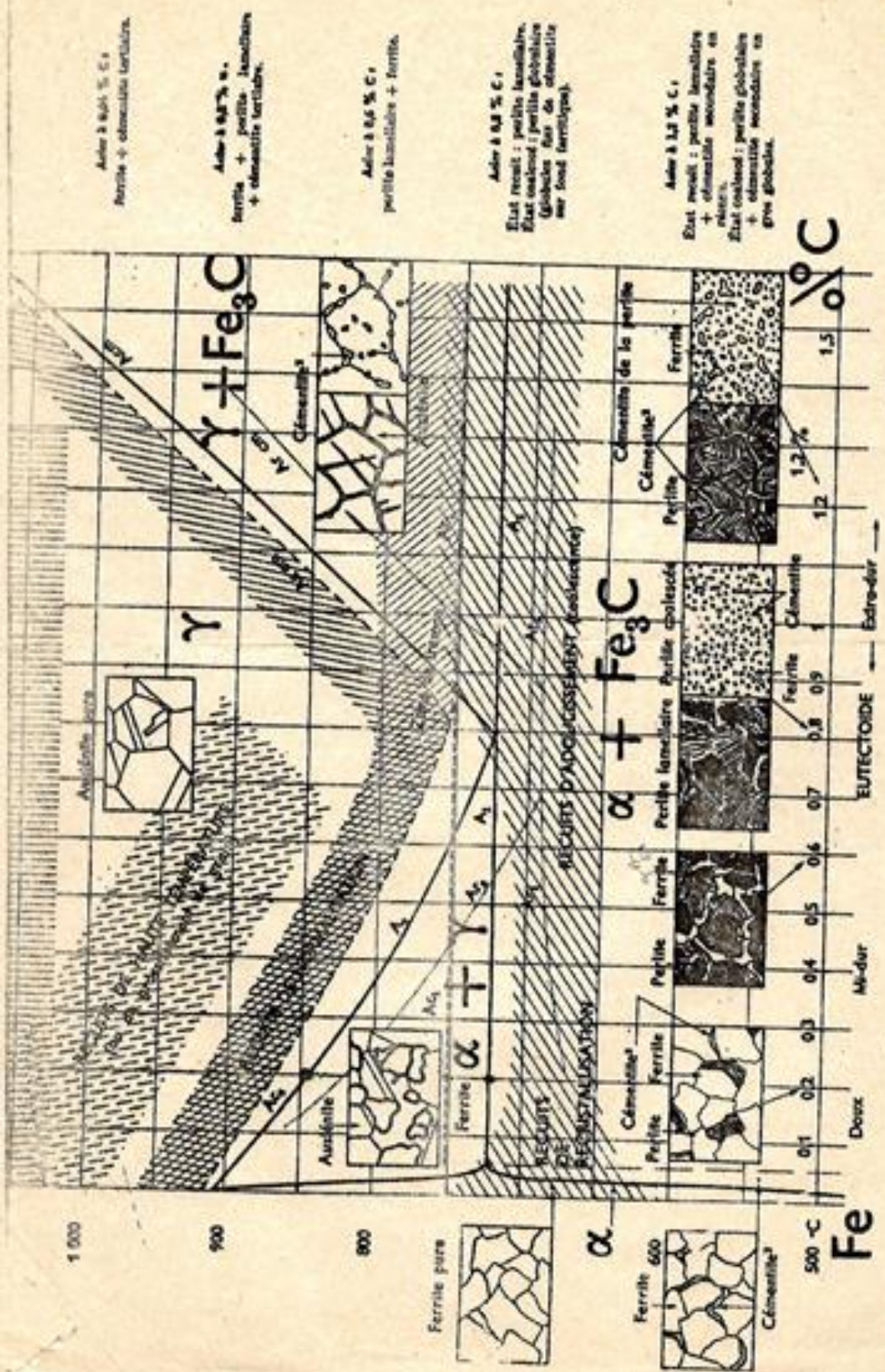
فهذه الآية دليل على مقاومة هذا المعدن الجيدة، إذا رأينا في الفصل الأول أنه يمكن الحصول على هذا المعدن بنقاوة تقارب 99.99%، و لكي نضفي على هذا العنصر خصائص ميكانيكية معروفة نضيف له عناصر معدنية (Al, Ni, Si...) أو غير معدنية (C, N, O...)، و يعتبر الكربون واحدا من هذه العناصر، فهو بدوره العنصر الأقل تكلفة، و الأكثر فعالية لتقسية الحديد.

فلقد حاولنا في هذا البحث تسليط الضوء على سبائك حديد-كربون محاولة إبراز خصائصها الميكانيكية و الفيزيائية، و مجالات إستعمالها. و لقد رأينا أن الكربون ينغرس في الحديد بنسب متغيرة و تغير هذه النسب يعطى لنا بطبيعة الحال تغيرا في الخصائص الميكانيكية و الفيزيوكيميائية، و بما أن حالات نادرة الوقوع، لذلك قمنا بإستعمال المركب Fe_3C (السمنتيت) هذا المركب شبه المستقر الذي سرعان ما يتحول إلى حديد + كربون عند رفع درجة الحرارة و رأينا أنه يمكن التمييز بين قسمين مهمين لهذا النظام، هما الفولاذ و حديد الزهر.

الفولاذ و هي السبائك التي يكون فيها تركيز الكربون أقل من 2.1%، حيث أظهرت نتائج المعالجة الحرارية، (التبريد البطيء) أنه يمكن ملاحظة طبقات متناوبة من الفريت و السمنتيت و التي تسمى برليت، فمن أجل تبريد بطيء لفولاذ فرط أوتكتويدي. و الذي يكون على شكل سمنتيت في الحدود الحبيبية للأوستنيت يظهر البرليت مباشرة عند درجة حرارة الأوتكتويد. و في حالة فولاذ هبط أوتكتويدية، و التي تكون على شكل فريت في الحدود الحبيبية للبرليت، مما يثبت صلابة هذه الفولاذ.

أما القسم الثاني أي حديد الزهر و التي تحتوي على حوالي أكبر من 2.1 % كربون و هذا ما يسمح بالحصول على سبائك أوتكتيكية تميز الخصائص المهمة و الملائمة للقوالب للقطع الأكثر تعقيدا. حيث لاحظنا أنه يمكن تقسيمها إلى عدة أنواع: حديد زهر أبيض، حديد زهر رمادي، حديد زهر أرقش، حديد زهر ذو الغرافيت المتكور، حديد الزهر اللين.

Figure 4 : ACIERS AU CARBONE
POINTS DE TRANSFORMATION.



Acier à 0,1% C
Ferrite + cémentite lamellaire.

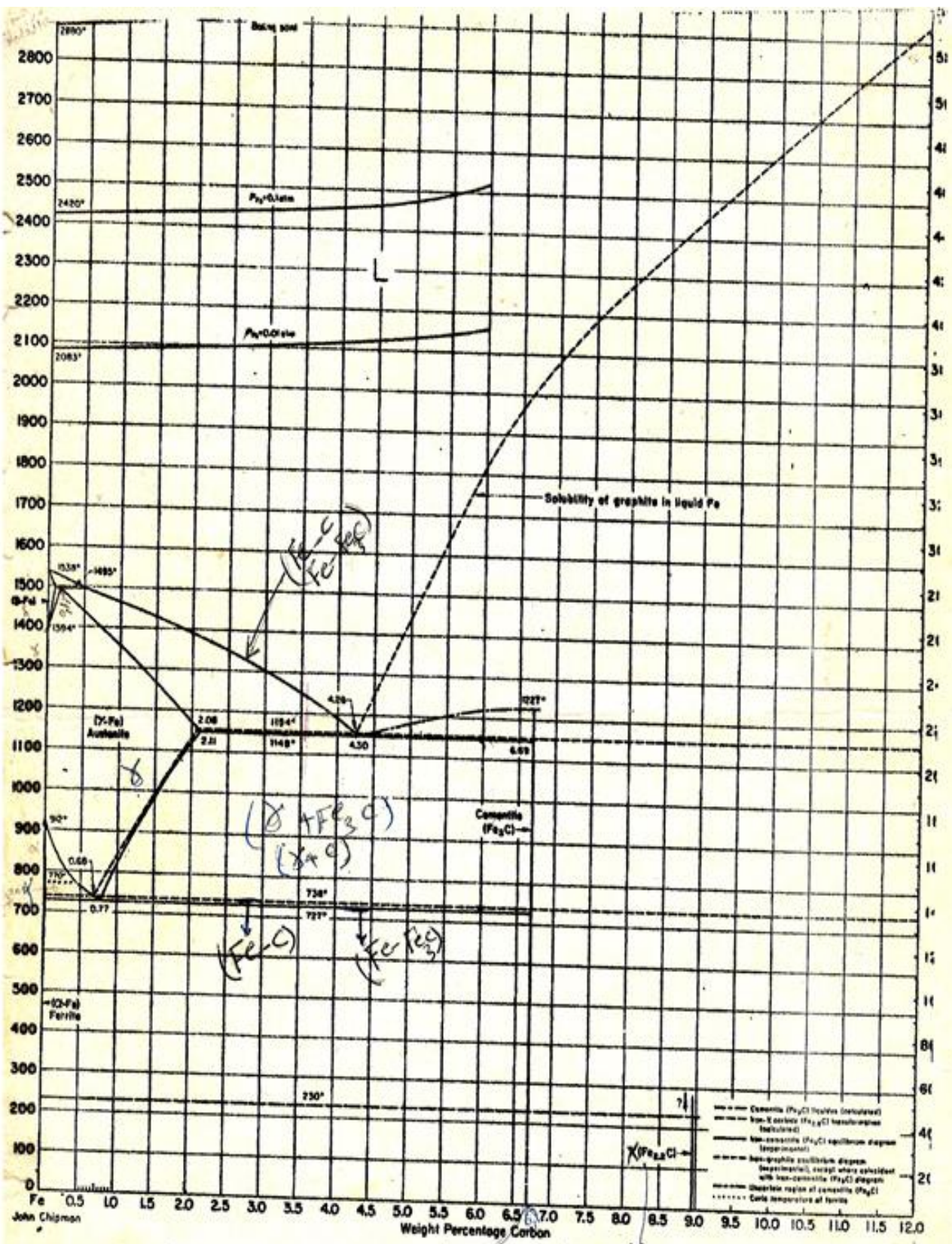
Acier à 0,2% C.
Ferrite + perlite lamellaire
+ cémentite lamellaire.

Acier à 0,4% C.
perlite lamellaire + ferrite.

Acier à 0,6% C.
Etat recuit : perlite lamellaire.
Etat cédé : perlite globulaire
(globules fins de cémentite
sur fond ferritique).

Acier à 1,2% C.
Etat recuit : perlite lamellaire
+ cémentite secondaire en
masses.
Etat cédé : perlite globulaire
+ cémentite secondaire en
gros globules.

CHIMIE
Atome de métallurgie
par J. Polak



Handwritten notes in Arabic script at the bottom of the page, likely providing a summary or interpretation of the diagram's key features. The text includes phrases such as "التركيبات المختلفة" (different compositions) and "الدرجات المختلفة" (different temperatures).

المراجع:

1. Technique de l'ingénieur- Métallurgie :M-70.
2. Métallurgie (Tome 1) : Chaussin-Hilly.
3. Précis de Métallurgie : Barralis, Maeder.
4. Matériaux (matériaux métallique) (Tome 1) :Nouredine- Bouaouadja.
5. Métallurgie structurale : Bouchy, Gobin.
6. Matériaux : Michel . F, Ashby-Dvid, RH. Jounes.
7. مدخل في علم المعادن: زغدة العروق
8. Métallurgie de fonderie (Tome 2) : Michel Geier.
9. Reed-Hill, R. E. and Abbaschian, R., (1994), Physical Metallurgy Principles, 3rd edition, PWS Publishing Co.
10. Krauss G., [1981], Steel: Heat Treatment and Processing Principles, Am. Soc. of Metals.
11. ASM Handbook, [1990], Heat Treatment, Volume 4.
12. Smith W. F., [1993], Structure and Properties of Engineering Alloys, International (2nd) edition, McGraw-Hill.
13. Callister Jr., W. D., (2002), Materials Science and Engineering An Introduction, 5th edition, John Wiley & Sons.