

الفصل الثاني: مركبات و اطوار النظام حديد-سمنتيت (Fe-Fe₃C)

1. تمهيد

تعتبر سبائك الحديد الأكثر إستعمالا في الصناعة إذ أن الحديد يشكل سبائك مع عدد كبير من العناصر الأخرى سواء معدنية أو غير معدنية. و يكمن الدور الكبير لسبائك الحديد في حديد-كربون (Fe-C) و من أهمها الفولاذ و حديد الزهر. و فيما يلي دراسة بنية و تحولات أطوار السبائك Fe-C.

2. عناصر و أطوار مخطط الإتران Fe-C: يعتبر هذا النظام كمرجع لبقية السبائك الحديدية. و هو مكون من عنصرين متباينين في الخواص الفيزيائية و الكيميائية.

1.2. عناصر مخطط الإتران Fe-C:

الحديد: الحديد هو معدن أبيض عدده الذري $Z=26$ و كتلته الذرية $A=55.85$ ، نصف قطره الذري 1.27Å و هو أكثر المعادن نقاءا. و يمكن الحصول عليه حاليا بنسبة 99.99% حديد، و بفوارق تقنية تتغير من 99.8% إلى 99.9% و درجة إنصهاره تقدر 1539 °C . و خاصية الحديد الأكثر أهمية هي كونه متعدد الأطوار. إذ أنه يملك ثلاث مظاهر α ، γ ، δ .

يملك الحديد نقطتين للتحويل التآصلي، و نقطة تحول مغناطيسي و هذه الأخيرة تحدث عند $T_C=768\text{ °C}$: و هي النقطة التي يتحول فيها الحديد من فيرومغناطيسي إلى بارامغناطيسي. في نفس البنية المكعبة.

○ **الحديد α :** يوجد في درجة حرارة أقل من 910 °C . و بنيته عبارة عن شبكة مكعبة ممرضة الجسم (bcc). ذات بعد شبكي $a=2.8606\text{ Å}$ و هو مغناطيسي إلى غاية T_C . حيث خاصية الحديد المغناطيسية تتعلق إلى حد كبير بنقاوته و بمعدل المعالجة الحرارية. فمن أجل حديد متعدد البلورات محدد بين 99.8% إلى 99.9% من الحديد النفاذية المغناطيسية محصورة بين $M_{\max}=5000$ ($10000\text{ G}\cdot\text{s}/D_E$)، و معامل التمدد الخطي $\lambda=11.7*10^{-6}\text{ C}^{-1}$ و المقاومة النوعية الكهربائية $\rho=10.10^6\text{ oHm/cm}$ و كثافة الحديد α هي 7.68 g/cm^3 . و سعته الحرارية الكتلية $C=0.45$ $0.95\text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ عند درجة حرارة محصورة بين 20 إلى 700 °C .

○ **الحديد γ :** يوجد بين درجتى حرارة 910 °C و 1392 °C و هو شبه مغناطيسي (paramagnétique) يتبلور في شبكة مكعبة ممرضة الوجوه ببعد شبكي $a=3.647\text{ Å}$ (في 910 °C)، كثافته أعلى من كثافة الحديد α و هي مساوية إلى 8 g/cm^3 .

○ الحديد δ : يتبلور الحديد γ مرة أخرى عند درجة حرارة أعلى من $1392\text{ }^\circ\text{C}$ في بلورة من نوع BCC. و يعرف بالحديد δ .

الكربون: عدده الذري $Z=6$ ، و كتلته الذرية $A=12.011$ يتبلور في بلورة سداسية و ينصهر في جوار $2940\text{ }^\circ\text{C}$ نصف قطره الذري 1.54 \AA .

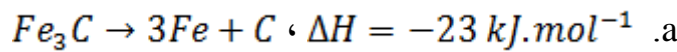
2.2. أطوار النظام Fe-C:

1. فريت (α Ferite): و هو محلول جامد إنغراسي للكربون في الحديد α (ذوبانية قصوى تساوي 0.02% وزنا في $727\text{ }^\circ\text{C}$).

2. فريت δ : و هو محلول جامد لإنغراس الكربون في الحديد δ (ذوبانية قصوى تساوي 0.1% وزنا في $1487\text{ }^\circ\text{C}$).

3. أوستنيت γ : و هو محلول جامد لإنغراس الكربون في الحديد γ .

4. سيمينتيت ($\text{Carbure ou cimetite}$): تركيبه موافق ل 6.67% وزنا للكربون و هو عبارة عن مركب إنغراسي بخلية معينة مستقيمة (Orthorombique) وهو مركب شبه مستقر. يستطيع أن يتحول إلى graphite+ferite.



و ينصهر السمنتيت عند $1227\text{ }^\circ\text{C}$ ومن أجل Fe_3C 100% يوجد 6.67% كربون (وزنا) وهو مغناطيسي أدنى $210\text{ }^\circ\text{C}$.

5. كربون نقي (graphite): ذوبانية الحديد في الكربون معدومة و الجدول التالي يعطي إختلاف ذوبانية الكربون في الحديد للبنيتين CC و CFC.

Fe α		Fe γ	
T($^\circ\text{C}$)	C%	T($^\circ\text{C}$)	C%
200	7.10^{-7}	727	0.77
400	23.10^{-5}	800	0.94
600	$5.7.10^{-3}$	1000	1.55
727	$2.2.10^{-2}$	1148	2.11

3. مخططات الإتران:

يوجد نوعان من بيانات الإتران **Fe-C** و **Fe-Fe₃C** و من الواضح أن الأول هو الأكثر إستقراراً من الثاني، لأن السيمينتيت يمكنه أن يتفكك إلى حديد و غرافيت عند التسخين. أما بالنسبة لمنحنيات تغير الطاقة الحرة بدلالة التركيز فإنه من الواضح أن للسمنتيت طاقة حرة أكبر بقليل من الطاقة الحرة للغرافيت. و بالتالي فإن المماس المضاعف لمنحنيات تغير الطاقة الحرة بين الفيريت و الغرافيت يكون أسفل المماس المضاعف لمنحنيات تغير الطاقة الحرة بين الفيريت و السيمينتيت عند مختلف درجات الحرارة. لكن يجدر الإشارة إلى أن السمنتيت يبقى مستقراً عند درجات الحرارة العادية و بصورة عامة نلاحظ وجود مخططين و ذلك إذا أعطت سبائك السائل طورين صلبين مختلفين و كل طور يوافق خطأ للسيولة خاص يفصل المجال السائل عن المجال (السائل المشبع+الصلب).

وفي حالة السبائك **Fe-C** نجد الترتيب الأسهل في الشكل (2-2) حيث أن خطأ السيولة لا يتقاطعان. فالسيولة الممثلة بالنقطة p تبدأ بالتجمد في النقطة p' لتعطي غرافيت متوازن مع محلول مشبع أكثر من الغرافيت في الحديد لكن يمكن أن يكون هناك انصهار مفرط حيث يبقى السائل في حالة محلول مشبع بالغرافيت.

عند الوصول إلى النقطة "p" السائل يولد السمنتيت و محلول راسب يكون مشبع بالسمنتيت و هذا الأخير أكثر تشعباً بالسمنتيت أكثر منه بالنسبة للغرافيت و هذه الحالة تدعى حالة التحول اللامستقرة. و يمكن أن يعطى ميلاد الإتران المستقر و ذلك عندما يختفي السمنتيت ليتحلل إلى غرافيت + حديد (Fe+C). و في نقطة ما O مثلاً: يمكن أن تتوافق ثلاث وجوه من التوازن:

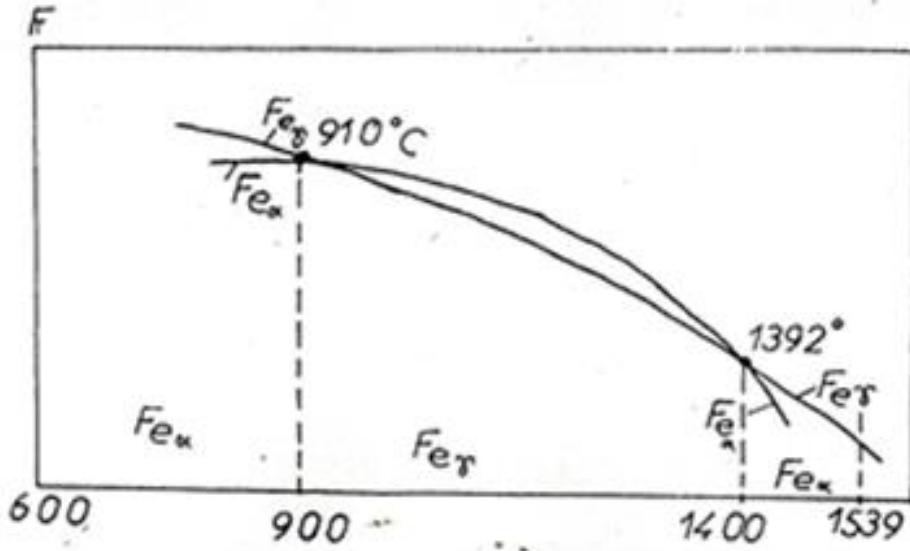
- ❖ توازن مستقر: غرافيت+سائل (M)
- ❖ توازن غير مستقر: غرافيت+سائل (N)
- ❖ حالة سائل خارج التوازن مشبع بالغرافيت و السمنتيت و نجد الظاهرة من خلال التحولات في الحالة الصلبة

1.3 مخطط السمنتيت:

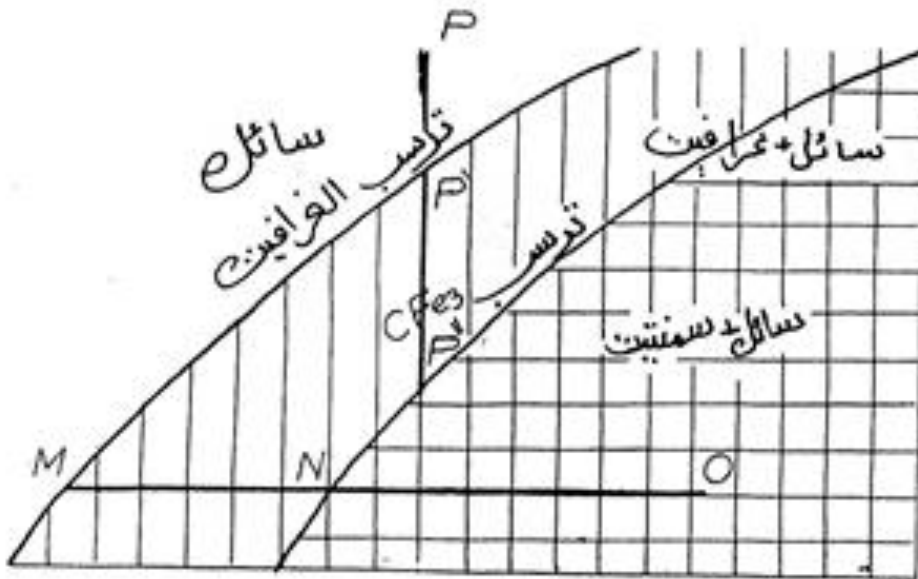
1.1.3. المخطط المبسط: يمثل خط هذا المنحنى من أجل نسب الكربون الأقل من 6.7% (وزناً) . كما هو موضح في الشكل –(2-3):

وفيما يلي دراسة لمختلف المناطق وكذلك خطوط التحولات في درجات الحرارة الثابتة.

المنطقة I: على طول الخط Ac يوجد راسب من محلول صلب من الكربون في الحديد (γ) يدعى الأوستنيت أين نسبة الكربون تتغير من 0 إلى 2.1% إذن المنطقة (I) تتكون من خليط: سائل + أوستنيت ($L + \gamma$):

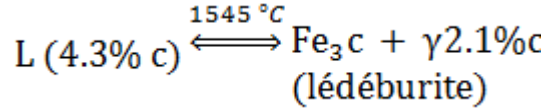


الشكل (1-2) العلاقة بين الطاقة الحرة و درجة حرارة Fe_γ و Fe_α .



الشكل (2-2)

المنطقة II : على طول CD: منحني ذوبان السيمينتيت في حديد الزهر السائل حيث أن الخط غير محدد بدقة، وهناك راسب من السيمينتيت. إذن هذه المنطقة تتكون من خليط: سائل + سيمينتيت ، وهذا السيمينتيت يدعى بالسيمينتيت الأولي C_I أو سيمينتيت بروتكتيكي : $(L+C_I)$ **الخط اليوتكتيكي :** بيان شبه مستقر : (diagramme metasable) .



عند $1145\text{ }^\circ C$ السائل اليوتكتيكي يتجمد ليعطي لنا الليدوبيريت lédéburite اليوتكتيك مكون من سيمينتيت + أوستنيت عند 2.1% من C ويحوي على:

$$(T_E + \varepsilon) : \frac{CF}{EF} = \frac{6.7-4.3}{6.7-2.1} \times 100 = 48\%$$

أي: 48% من الأوستنيت اليوتكتيكي.

52% من السيمينتيت اليوتكتيكي.

المنطقة III: مكونة من الأوستنيت فقط بتركيب كيميائي متغير لا يبدي أي تحولات أثناء التبريد. إذن المنطقة III تحوي على طور وحيد هو (γ) فقط.

المنطقة IV: تحتوي على طورين لأنها منفصلة عن المنطقة III بخط مائل وطبيعة هذه الأطوار تعطى بقاعدة الخط الأفقي. إذن المنطقة IV تحوي على خليط : أوستنيت + سيمينتيت. وعلى طول الخط ES للسيمينتيت السيمينتيت الثانوي (سيمنتيت بروتكتويدي) ينفصل عن الأوستنيت، المعوز للكربون أين نسبة الكربون تتراوح بين 2.1% و 0.77% وبالتالي المنطقة IV تتكون من أوستنيت + سمنتيت ثانوي ($\gamma + C_{II}$).

المنطقة V: تحت الخط EC مباشرة ($T_{E-\varepsilon}$) لدينا خليط: أوستنيت بروتكتيكي (قبل اليوتكتيكي) + ليدوبيريت (أوستنيت يوتكتيكي عند 2.1% + سمنتيت يوتكتيكي)، أين نسبة الأوستنيت تتغير من 2.1% إلى 0.77% وفي نفس الوقت تتزايد نسبة السيمينتيت الثانوي C_{II} .

إذن المنطقة V تحتوي على ($\gamma_{eutc} + C_{eutc}$)

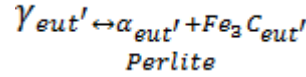
المنطقة VI : هذه المنطقة مركبة من خليط :

سمنتيت أولي C_I + ليدوبيريت (سيمينتيت يوتكتيكي + أوستنيت يوتكتيكي).

-نلاحظ أن المناطق IV , V , VI تحوي مجال وحيد يشمل طورين سيمينتيت + أوستنيت ولكل واحد منهما تراكيب تختلف حسب نسبة الكربون الداخلة في التركيب.

المنطقة VII: مكونة من الفريت (حديد α نقي) و الأوستنيت على طول الخط GS الفريت ينفصل عن الأوستنيت ومن ثم يثرى بالكربون حتى النسبة الحدية 0.77% .

الخط اليوتكتويدي : في النقطة S الأوستنيت بتركيب 0.77% يتحول إلى برليت يوتكتويدي مكون من الفريت والسمنتيت . حيث يتحقق التفاعل العكوس التالي :



يسمى هذا الخليط الطوري (الناتج عن التفاعل الأوتكتويدي) بالبرليت ويقدر مقدار الفريت الأوتكتويدي ($\alpha_{eut'}$) و السمنتيت الأوتكتويدي ($C_{eut'}$) ب:

$$a_{eut} = \frac{6.67 - 0.77}{6.67} * 100 = 88.45\%$$

$$C_{eut} = \frac{0.77}{6.67} * 100 = 11.55\%$$

تحت الخط الأفقي PSK: مجال التوازن يحوي طورين الفريت و السمنتيت ومن وجهة النظر الفيزيوكيميائية، لدينا أربع مناطق متميزة محدودة بالأعمدة و المارة بالنقطة اليوتكتويدية و النقطة E الموافقة للنسبة العظمى للأوستنيت من الكربون و النقطة اليوتكتيكية C.

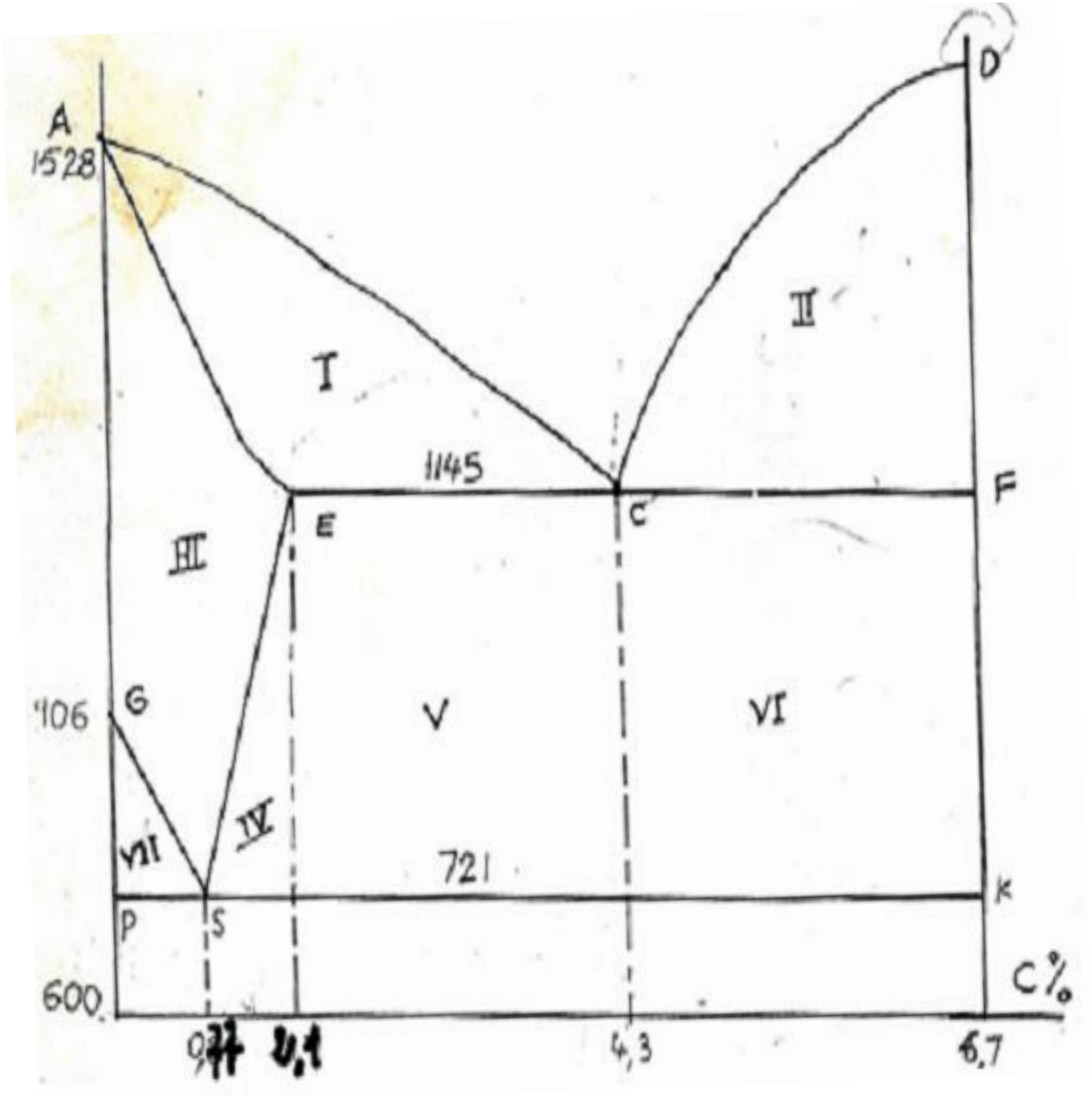
كل منطقة مختلفة عن التي أدنى منها حيث أن الأوستنيت γ إستبدل كليا بالبرليت و نبين بسهولة بأن مركبات هذه المناطق هي كالتالي:

❖ $0 < c < 0.77$: فولاذ تحت اليوتكتويدي: فريت بروتكتويدي (قبل اليوتكتويدي)+برليت.

❖ $0.77 < c < 2.1$: فولاذ تحت يوتكتويدي: سمنتيت بروتكتويدي (قبل اليوتكتويدي) +C_{II}برليت.

❖ $2.1 < c < 4.3$: حديد الزهر الأبيض تحت اليوتكتيكي Fonte Blanche hypoeutectique

❖ $4.3 < c < 6.7$: حديد الزهر الأبيض فوق اليوتكتيكي: سمنتيت بروتكتيكي + سمنتيت يوتكتيكي + سمنتيت بروتكتويدي + برليت.



الشكل (3-2)

2.1.3. المخطط التام: المخطط السابق تحصلنا عليه عندما قمنا بإلغاء التفاعل البيريتكنتكي و الذي ليس له أهمية صناعية بسبب إستقرار الحديد α عند درجات حرارة منخفضة و الذي له نفس خصائص الحديد δ المستقر عند درجات حرارة عالية. و يعطى المنحنى العام بالشكل (4-2)

❖ **المنطقة ABHJN:** بإعتبار أن لهذه المنطقة أهمية تطبيقية ضئيلة في درجة الحرارة العالية و من أجل نسب الكربون في الحديد الأقل من % 0.4 (فاصلة النقطة B). السائل يترك محلول صلب من الكربون في الحديد δ . و هذا الحديد يتحول إلى حديد γ ابتداء من 1487°C و هذا التحول يكتمل فيما بعد عند الدرجة 1401°C . الخط الأفقي HJB عند الدرجة 1487°C هو خط بيريتكنتكي.

❖ **المنطقة GPQ (q على الخط الأفقي ل0):** وجود هذه المنطقة ذو أهمية اكيدة و على الخصوص لا يمكن إهمالها من أجل دراسة الفولاذ اللين جدا. و الفيريت ليس كما إفترضنا فالحديد α نقي بشدة. لكن المحلول الصلب من الكاربون في الحديد α لديه نسبة منخفضة من الكربون 906°C حتى 721°C ، هذه النسبة تزداد من 0 إلى غاية % 0.02 ثم تنقص بسرعة مع درجة الحرارة لتصبح مهملة عند 300°C وهذا مايسبب إنفصال السمنتيت الذي يدعى ب **السمنتيت الثالثي C_{III}**.

❖ **خارج المنطقة GPQ:** المخطط يشمل منطقة إضافية من 0 إلى % 0.02 حيث التركيب كالتالي: **فيريت+ سمنتيت ثالثي**

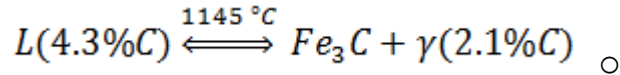
❖ **في كل المناطق التي تقع تحت الخط PSK و على يمين % 0.02 الفيريت (حر أويوتكتويدي) يحوي على السمنتيت الثالثي المترسب إلى جزيئات صغيرة عموما (ماعدا أحيانا في حالة الفولاذ المتفرقة للكربون نسبة السمنتيت الثالث تساوي أعظما % 0.3 = $\frac{0.02}{0.67}$ من أجل فولاذ عند التركيز % 0.02 من الكربون و التي تتضاءل عندما ترتفع نسبة الكربون. و عموما السمنتيت الثالثي C_{III} لا يأخذ بعين الإعتبار.**

2.3 مخطط الغرافيت:

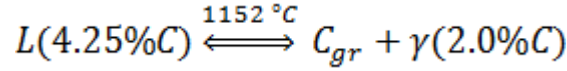
في الشكل (4-2) منحنى **Fe-C** مرسوم بخط متقطع و دراسة تكوين المناطق هي نفسها كالسابق، و يكفي إستبدال كلمة (السمنتيت) بكلمة (الغرافيت) وهذا المخطط غير محدد بدقة إلا من أجل نسب معتبرة من الكربون، و بالخصوص لم نحصل بيقين على اليوتكتويدي S' عند % 0.69 من الكربون.

وعلى العموم المخططين السابقين مميزين ب:

- البيان شبه المستقر (البيان السمنتيت):

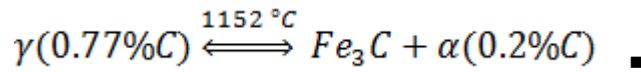


- البيان المستقر:

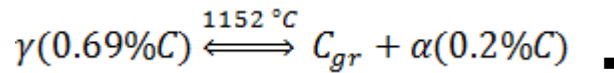


- التحول الأوتكتويدي:

- البيان غير المستقر:

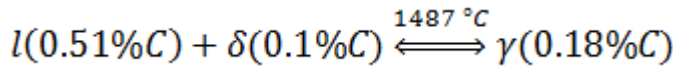


- البيان المستقر:



- التحول البيريتيكي:

- مشترك:



ملاحظة: القيم العددية لدرجة الحرارة و نسب الكربون للأطوار المختلفة تتغير حسب المرجع.

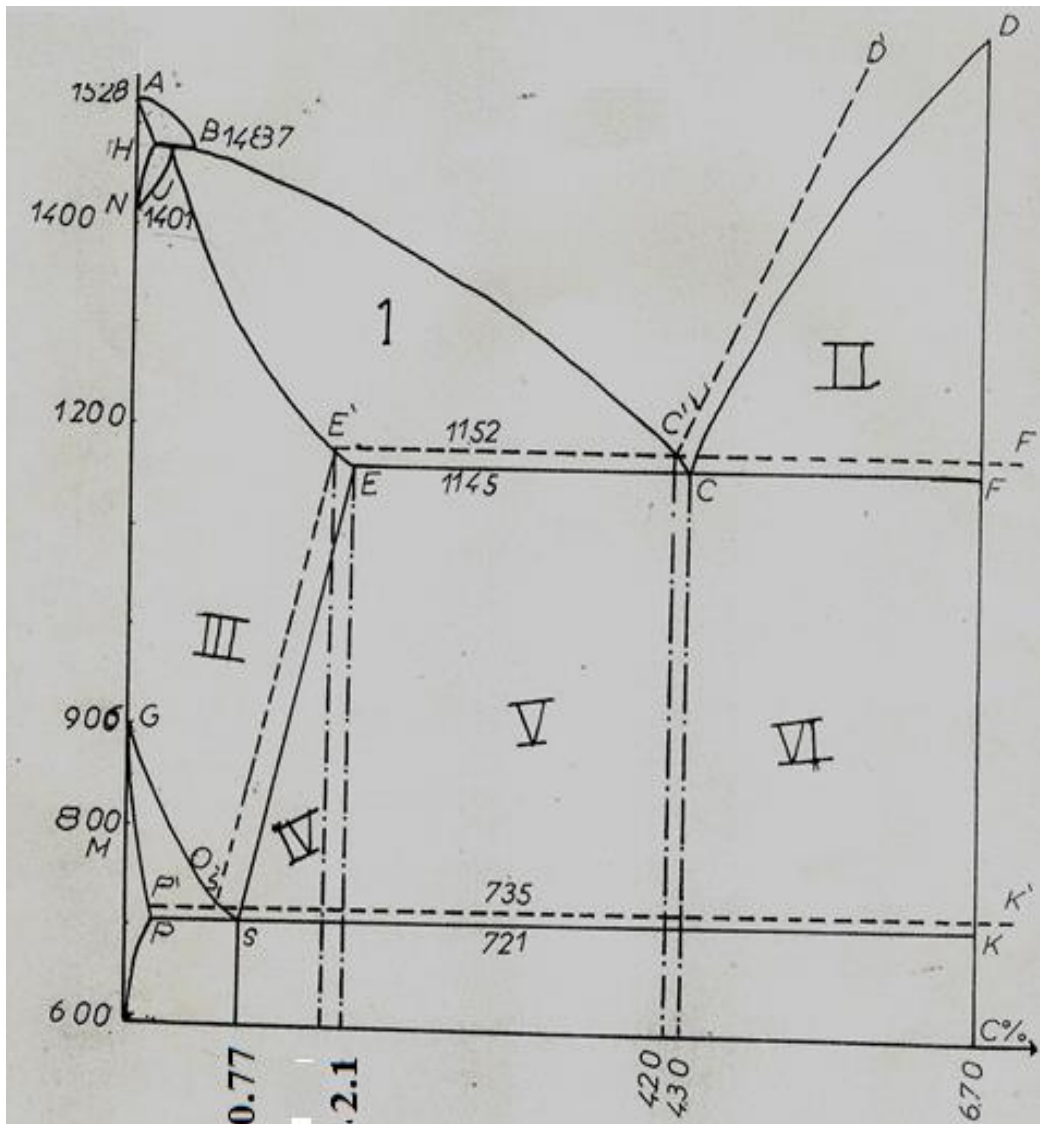
4. شروط صحة استعمال هذه المخططات:

هذه المخططات ليست مقبولة (صحيحة) بكل صرامة، إلا من أجل السبائك المكونة من الحديد و الكربون فقط. وأن أي عنصر أو عدة عناصر تدخل بنسب ضعيفة فإن المخطط المحصل عليه يبقى بجوار المخطط النظري، و لهذا نستطيع استعمال المخطط Fe-C من أجل الفولاذ العادي لكن إذا زادت نسبة العنصر الغريب (المضاف) المخطط يتغير جذريا.

ومن جهة أخرى في هذه المخططات نفرض أن السبيكة في حالة الإتزان إذا لا تطبق إلا السبائك ملدنة بالقدر الكافي. كما نلاحظ أنها لا تعطى أية معلومات على بنية الفولاذ و حديد الزهر.

5. شروط تثبيت توازيين و المرور من أحدهما إلى الآخر:

علما بأن توازن الغرافيت هو توازن مستقر، فالسرعة التي معها ينتهي الغرافيت إلى الاستقرار، تتغير بسرعة كبيرة، و تزداد مع درجة الحرارة الابتدائية و مع تبطء التبريد، بالإضافة إلى أنها تتعلق بنسبة الكربون و عناصر أخرى و التي لها فعل تحريضي، فالسرعة الغرانييتية تزداد مع نسبة الكربون و السيليسيوم مثلاً: السمنتيت يتفكك بواسطة السيليسيوم تبعاً للتفاعل: $Fe_3C + 3Si \rightarrow 3SiFe + C$ أما العناصر: Mn, Ni, Al Cr لها تأثير عكسي. بينما S و P ليس لهما تأثير على إتران السمنتيت (درجة الحرارة، التبريد، و نسبة العناصر المضافة) نلاحظ تطبيقياً على إتران السمنتيت مع الفولاذ.



الشكل (4-2) مخططات الاتزان حديد-سمنتيت و حديد-غرافيت

6. البنية المجهرية في حالة الإتزان لسبائك Fe-Fe₃C:

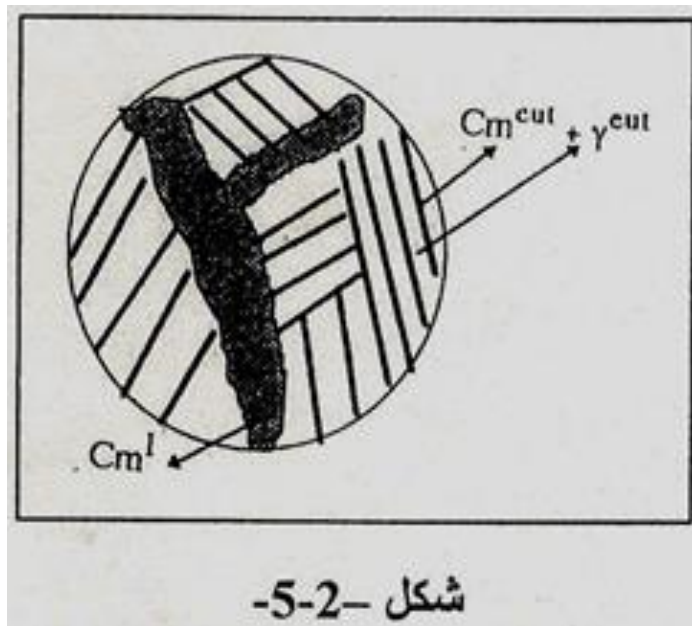
1.6. البنية المجهرية لحديد زهر أوتكتيكي:

يبدأ السائل الأوتكتيكي عند درجة حرارة 1148°C في التجمد ليعطي خليطا لرقائق متناوبة لطورين جامدين هما γ_{eut} و C_{eut} ، و يتم تجميد كل الطور السائل مباشرة أدنى 1145°C . يميز هذا الخليط السبائك الأوتكتيكية، و مع إنخفاض درجة الحرارة لا يحدث أي تحول للسمنتيت الأوتكتيكي بينما يمر تحول الأوستنيت الأوتكتيكي بالمرحل الثلاثة الأخيرة لتحول الأوستنيت في السبائك الفرط و الهبط الأوتكتيكية. تجدر الإشارة هنا إلى أن نسبة السمنتيت الثلاثي C_{III} بهذه السبيكة ضئيلة و تقدر ب 0.3% فقط عند درجة الحرارة العالية.

2.6. البنية المجهرية لسبائك حديد زهر فرط أوتكتيكي: تمر عملية التجميد بخمس مراحل:

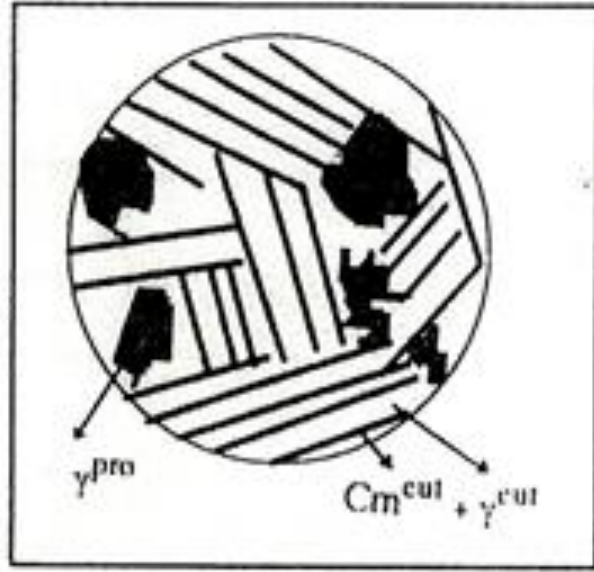
❖ **المرحلة الأولى:** يبدأ تجميد هذا النوع من السبائك عند منحنى السائل بتنوي و نمو بلورات السمنتيت الأولي C_{mI} ، مما يؤدي إلى إنخفاض تركيز ذرات الغرافيت في الطور السائل و مع إنخفاض درجة الحرارة ترتفع نسبته على حساب السائل يظهر C_{mI} ، على شكل عصي أو إبر ذات أبعاد كبيرة نوعا ما بييرة نوعا ما (و هي بيضاء اللون).

❖ **المرحلة الثانية:** عند المسح الأوتكتيكي (1145°C) يصبح تركيز السائل من الغرافيت مساويا إلى C 4.3% وزنا، عند ذلك فقط يتحقق التفاعل الأوتكتيكي. تتكون البنية المجهرية أدنى المسطح مباشرة من السمنتيت الأولي C_{mI} و السمنتيت الأوتكتيكي C_{meut} و الأستنيت الأوتكتيكي C_{eut} ، يكون السمنتيت الأولي منغمسا في البنية الرقائقية (البنية الأوتكتيكية). كما هو موضح في الشكل (2-5).



- ❖ **المرحلة الثالثة:** يحتوي الأوستنيت الأوتكتيكي على أكبر نسبة من الكربون و مع إنخفاض درجة الحرارة يطرد هذا الأوستنيت الكربون ليترسب عند رقائق السمنتيت الأوتكتيكي على شكل سمنتيت ثانوي C_{mII} . و بالتالي ينخفض تركيز الكربون في الأوستنيت بين المسطحين.
- ❖ **المرحلة الرابعة:** عند المسطح الأوتكتويدي ($727^{\circ}C$) يكون تركيز الأوستنيت قد وصل إلى $0.77\%C$ وزنا و هظا يمكن للتفاعل الأوتكتويدي أن يتحقق، فيتحول الأوستنيت إلى برليت أما السمنتيت بأنواعه الثلاثة فلا يحدث له أي تحول طوري.
- ❖ **المرحلة الخامسة:** أدنى الأوتكتويدي يخفي الأوستنيت، و مع إنخفاض درجة الحرارة يبدأ الفريت الأوتكتويدي المشع بالكربون (يحتوي على أكبر نسبة للكربون) بطرد الكربون الذي يترسب على شكل سمنتيت ثلاثي C_m^{III} حتى درجة الحرارة العادية و نسبته ضئيلة جدا و لقد تم التأكد من وجوده بإستعمال المجهر الإلكتروني. بإختصار يظهر هذا النوع من السبائك خمسة أنواع من السمنتيت تختلف فيما بينها في درجة ترسبها فقط. و عادة ما يطلق إسم السمنتيت الحر على المجموع C_I ، C_{II} ، C_{III} . تتميز البنية المجهرية لهذه السبائك بوجود صفائح C_{mI} الذي يعطى مظهرا أبيضاً للحديد الزهر الفرط أوتكتيكي عند إنكساره و هو ما يعرف بالحديد الزهر الأبيض.

3.6 البنية المجهرية لسبيكة حديد زهر هبط أوتكتيكي: و تمر بدورها بخمس مراحل خلال تجميدها و تشابه الأربع مراحل الأخيرة في تجميدها مع أية سبيكة فرط أوتكتيكية أما المرحلة الأولى فهي مختلفة و تتمثل في مايلي، عند المرور بمنحنى السائل يبدأ ترتيب بلورات الطور الصلب γ_{Pro} . ترتفع نسبته على حساب السائل مع إنخفاض درجة الحرارة ليتوقف ترسبه عند المسطح الأوتكتيكي. و هنا يكون تركيز السائل من الكربون قد إرتفع ليصل إلى تركيز السائل الأوتكتيكي ($4.3\%C$) و بالتالي فإن شروط التفاعل الأوتكتيكي تكون قد حققت أدنى المسطح الأوتكتيكي مباشرة تكون البنية المجهرية عبارة عن حبيبات الطور الجامد γ_{Pro} المترسب قبل الأوتكتيك منغمسا في الرقائق المتناوبة للأوتكتيك (شكل 2-6). يجب الإشارة هنا إلى أن البنية المجهرية لهذه السبائك عند درجات الحرارة العادية، تختلف عن البنية المجهرية للسبائك فرط أوتكتويدي (Perlite) عند $728^{\circ}C$ و تبقى آثار سطحه الخارجي الذي يفصله عن الخليط الأوتكتيكي واضحة المعالم عند درجة الحرارة العادية.



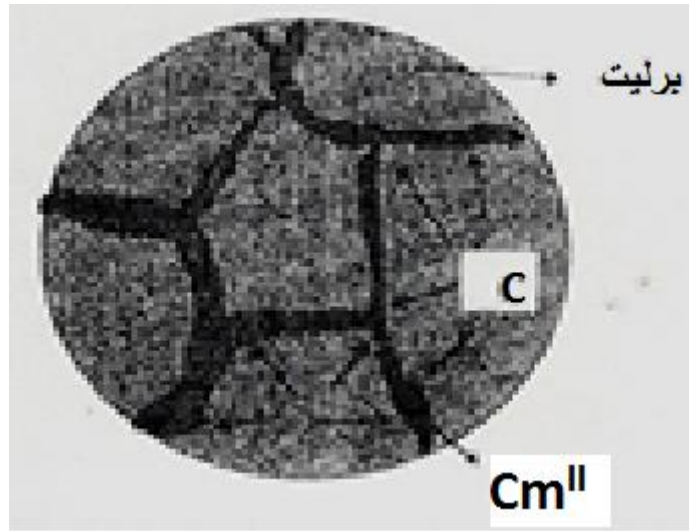
شكل -2-6-

4.6. البنية المجهرية لفولاذ أوتكتويدي (برليتي): يبدأ تجميد هذا الفولاذ عند حرارة عالية جدا (تقارب 1480 °C) حيث يتم التفاعل الأوتكتويدي. و أدنى المسطح مباشرة يتم تحول كل الطور γ إلى البرليت و هو الخليط الأوتكتويدي الذي يتكون من رقائق متناوبة للفريت الأوتكتويدي α^{eut} و السمنتيت الأتكتويدي C^{eut} تتوى و تنمو نويات الطورين بصورة متزامنة (شكل 2-7)، مع إنخفاض درجة الحرارة يترسب السمنتيت الثلاثي C_{mIII} . و على رقائق السمنتيت الأوتكتويدي و تكون نسب ضئيلة جدا عند درجة الحرارة العادية.



5.6. البنية المجهرية لفولاذ فرط أوتكتويدي:

بعد ترسب الطور الجامد γ المتشبع بالكربون (يحتوي على نسبة أكبر من C % 0.77) ينشر الكربون من قلب حبيبات الأوستنيت إلى حدود حبيباتها و بالتالي تنخفض نسبة الكربون داخل حبيبات الأوستنيت. وترتفع عند حدود حبيباته مما يؤدي إلى ترسب السمنتيت الثانوي C_{mII} عند حدود الحبيبات و يبدأ ذلك عند المرور بمنحنى ترسب السمنتيت الثانوي C_{mII} أي المنحنى A_{cm} و يتوقف عند المسطح الأوتكتويدي. عند $727^\circ C$ يكون تركيز الأوستنيت من الكربون يساوي تركيز السبيكة الأوتكتويدي و يتحول الطور γ إلى برليت (شكل 2-8). و أدنى المسطح الأوتكتويدي يبدأ ترسب C_{mII} لينتهي عند درجة الحرارة العادية.



الشكل (2-8)

6.6. البنية المجهرية لفولاذ هبط أوتكتويدي:

يحتوي هذا النوع من السبائك على تركيز منخفض من الكربون (أقل من C % 0.77 وزنا) و لتحقيق التفاعل الأوتكتويدي أي ترسب البرليت فلا بد أن يرتفع تركيز الكربون في الأوستنيت المترسب عند درجات حرارة أعلى من $727^\circ C$ يتحقق ذلك بإنتشار الكربون من حدود حبيبات الأوستنيت إلى قلب حبيبات فيرتفع تركيز الكربون في حبيبات الطور γ و ينخفض عند حدود حبيباتها يبدأ ذلك عند مرور المنحنى A_3 فتتحول حدود حبيبات الطور γ (التي تركيزها من الكربون منخفض) إلى الطور α ليتوقف عند الخط A_1 (و بين A_2 و A_3 تكون السبيكة مكونة من خليط طوري α و γ). قد وصل إلى تركيز السبيكة الأوتكتويدي، و بذلك للتفاعل الأوتكتويدي أن يتحقق.

ملاحظة:

- المسطح الأوتكتويدي (727°C) يسمى A_1 .

- A_3 : يمثل الحد الفاصل بين المنطقتين γ و $\alpha+\gamma$.

و تظهر البنية المجهرية أدنى المسطح الأوتكتويدي A_1 مكونة من حبيبات البرليت (رقائق متناوبة للخليط الأوتكتويدي) و حبيبات الطور الفريتي α الفقير من الكربون (شكل 2-9) يمكن حساب نسبة الكربون ($X\%C$) الوزنية في الفواليد الهبط أوتكتيكية بعد معرفة البرليت ($y\%$) و تعطى بالعلاقة التالية:

$$X\%C = 0.77y\%$$

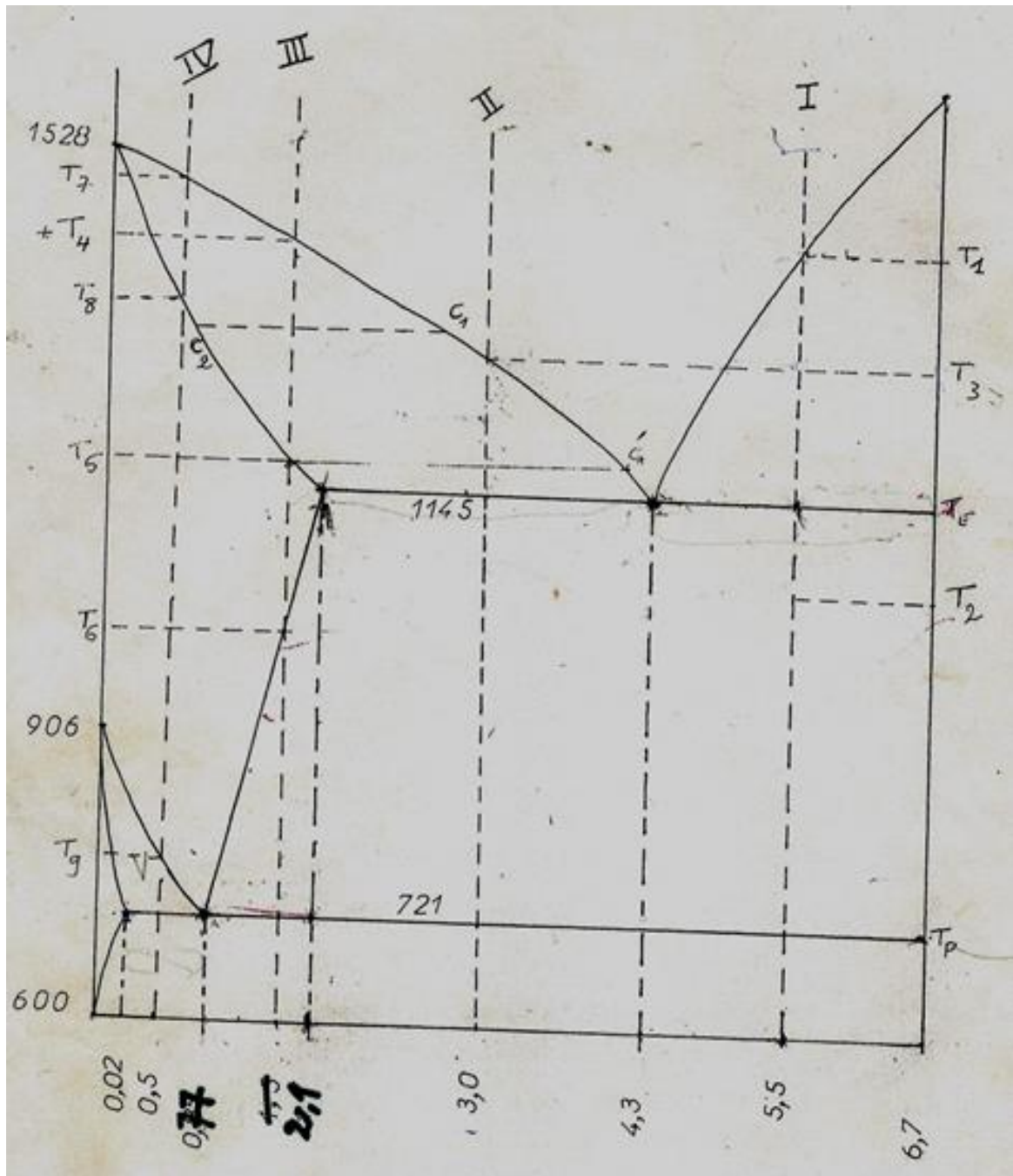
و يعتبر ترسب Cm^{II} مهمل في السبائك بين A_1 و درجة الحرارة العادية.

- ما يميز السبيكة الفولاذية الفرط أوتكتويدي هو ظهور السمنتيت الثانوي عند حدود الحبيبات و غياب الفريت كحبيبات مستقلة و العكس بالنسبة للسبيكة الهبط أوتكتويدي.

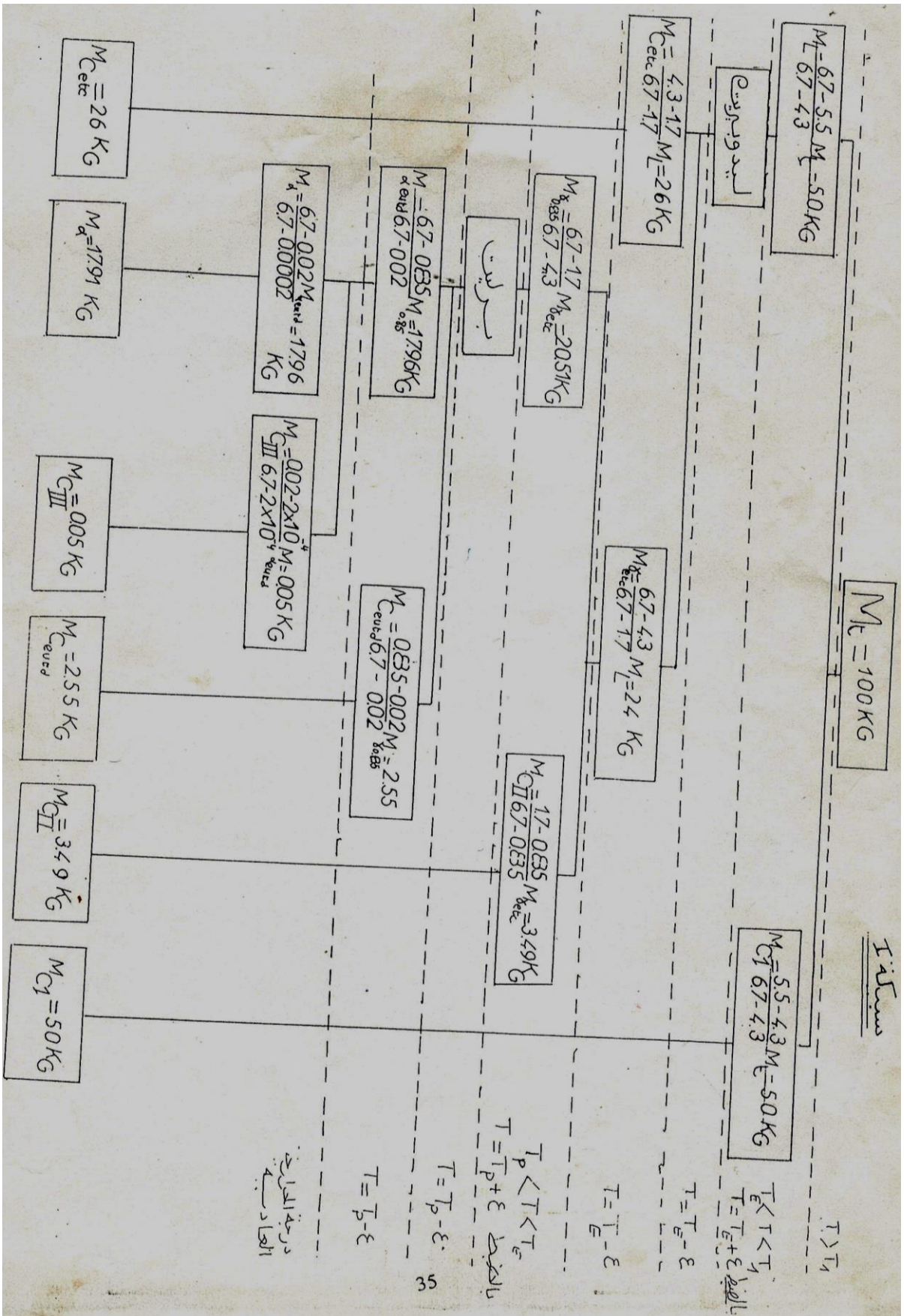


7. دراسة التحولات و التراكيز الطورية و كذا البنية المجهرية لبعض السبائك ذات تراكيز مختلفة بدلالة درجة الحرارة:

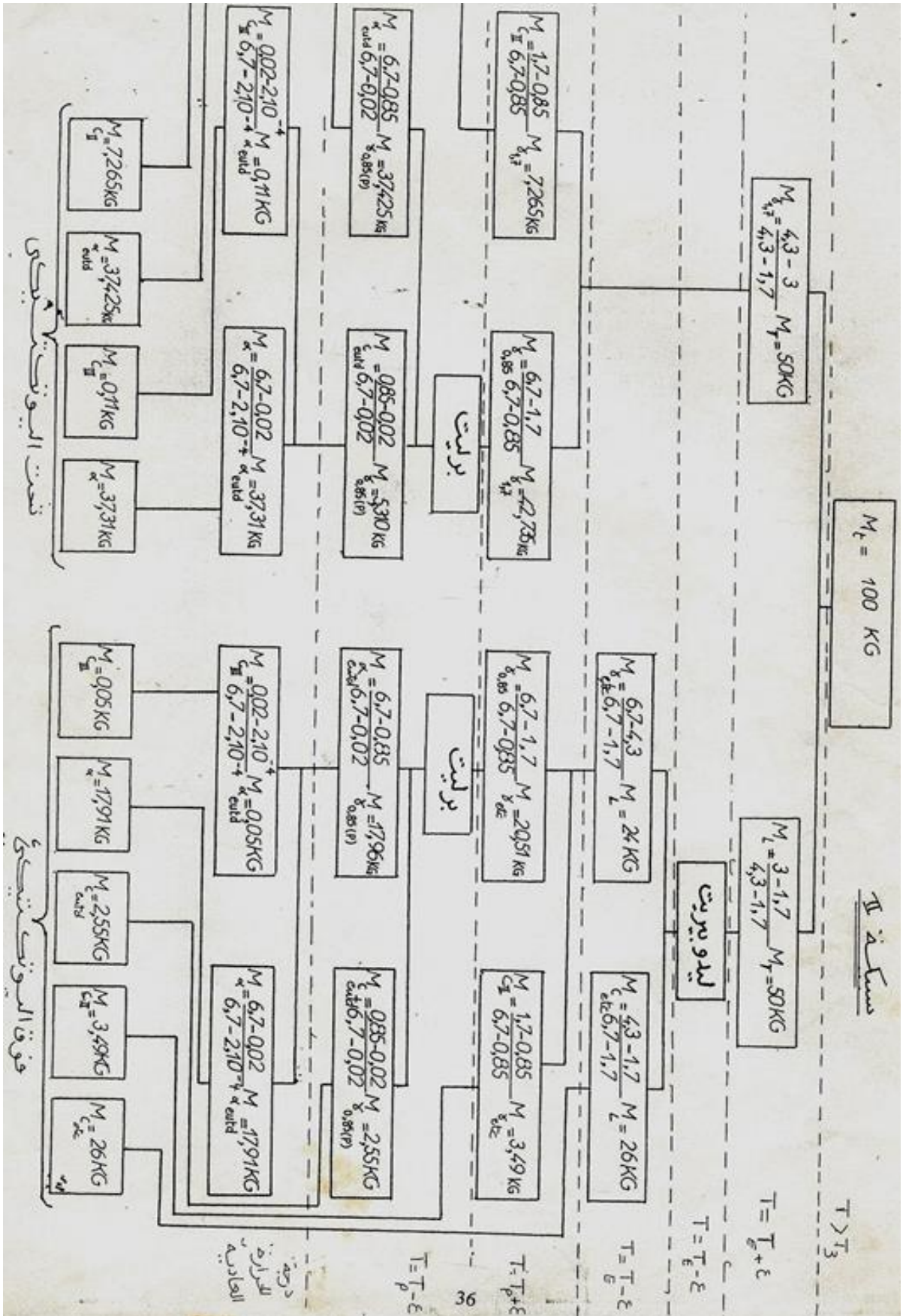
للعينات المبينة في الشكل (2-10) المطلوب هو تعيين الاطوار المتواجدة لكل سبيكة في مختلف درجات الحرارة و كذا حساب التركيز الكتلي المئوي و البنية المجهرية. و الاجابة مبينة في المخططات و الاشكال ادناه.



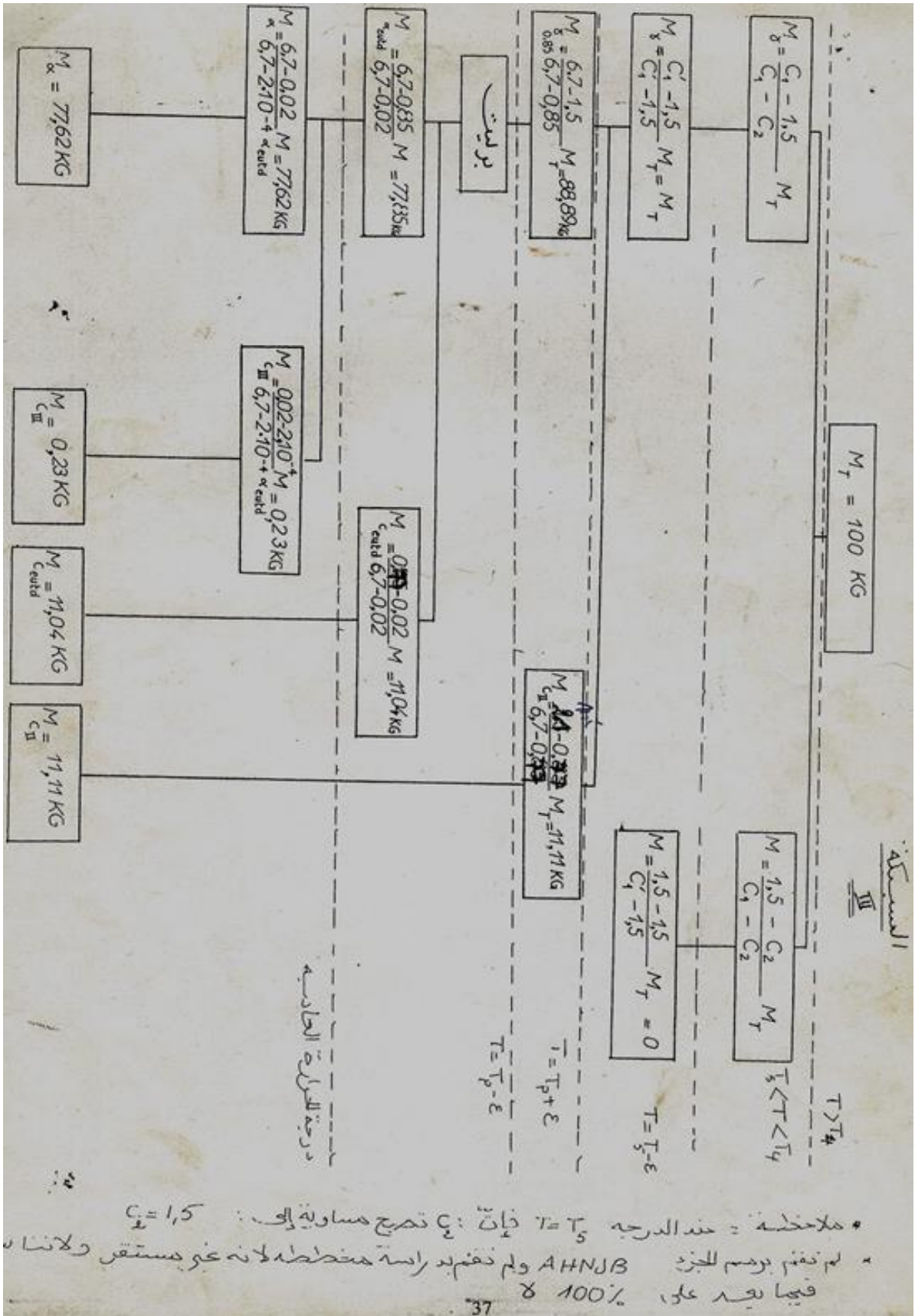
1.7. التراكيز الطورية لسبيكة فرط يوتكتيكية بدلالة درجة الحرارة



2.7. التراكيز الطورية لسبيكة فرط يوتكتيكية بدلالة درجة الحرارة



2.7 التراكيز الطورية لسبيكة فرط يوتكتويدية بدلالة درجة الحرارة



2.7 البنية المجهرية لسبيكة فرط يوتكتيكية و سبيكة هبط يوتكتويدية بدلالة درجة الحرارة

