

BAB V

DIAGRAM FASE

ISTILAH-ISTILAH

- Komponen : adalah logam murni atau senyawa yang menyusun suatu logam paduan.

Contoh : Cu - Zn (perunggu), komponennya adalah Cu dan Zn

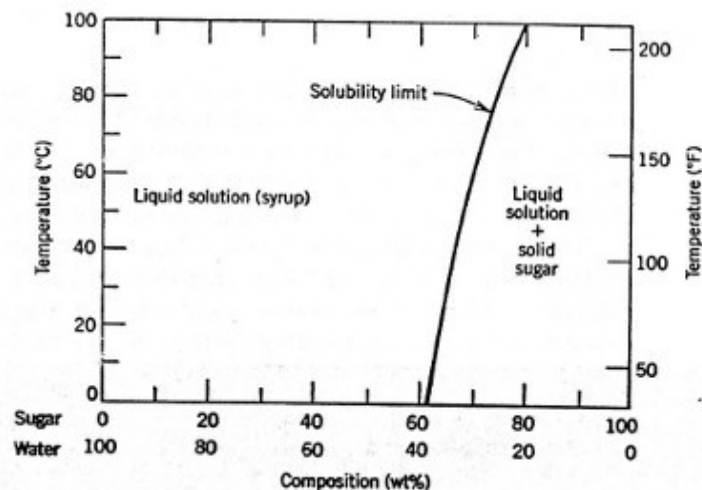
- Solid solution (larutan padat) : terdiri dari beberapa atom, minimal dua atom yang berbeda, atom terlarut menempati posisi substitusi atau interstisi pada kisi pelarut dan struktur kristal mengikuti struktur kristal pelarut.

- Batas kelarutan (solubility limit).

Suatu logam paduan akan mempunyai maksimum konsentrasi dari atom terlarut yang akan larut pada pelarut.

Jika atom terlarut konsentrasinya melampaui batas kelarutan maka sebagian atom tersebut tidak akan terlarut lagi. Untuk menggambarkan keadaan ini bisa dilihat contoh larutan air gula. Jika gula yang dicampur terlalu banyak maka gula tersebut tidak akan larut lagi (lihat grafik 9.1).

FIGURE 9.1 The solubility of sugar ($C_{12}H_{22}O_{11}$) in a sugar-water syrup.



- Fase:

Fase didefinisikan sebagai sistem yang homogen yang mempunyai sifat kimia dan sifat fisika yang seragam/uniform.

Satu fase : contohnya logam murni, padatan, cairan.

Lebih 1 fase : contohnya larutan air-gula dengan gula (larutan air-gula yang melampaui batas kelarutan).

Sistem fase tunggal → homogen

Sistem 2 atau lebih fase → campuran atau sistem heterogen.

- Struktur mikro :

Sifat-sifat fisik suatu bahan seperti sifat mekanik tergantung dari struktur mikro. Struktur mikro diketahui dengan observasi mikroskopik menggunakan mikroskop optik atau mikroskop elektron.

Pada logam paduan, penggolongan struktur mikro berdasarkan berapa jumlah fase, proporsinya dan bagaimana susunannya didalam bahan.

Struktur mikro bergantung kepada jumlah elemen paduan, konsentrasinya dan perlakuan panasnya (temperatur, lamanya pemanasan, laju pendinginan).

- Kesetimbangan fase

Kesetimbangan : jika sebuah sistem mempunyai energi bebas minimum pada temperatur, tekanan dan komposisi tertentu → tidak terjadi perubahan kondisi

Makin tinggi energi bebas → gerak atom pada bahan makin acak dan tidak teratur.

Secara makro : sifat-sifat sistem tidak berubah terhadap waktu → stabil

Kesetimbangan fase : adalah kesetimbangan pada sistem yang terdiri lebih dari 1 fase. Masing-masing fase tidak mengalami perubahan.

DIAGRAM KESETIMBANGAN FASE.

Banyak informasi tentang pengontrolan struktur mikro pada paduan logam tertentu lebih memudahkan jika digambar dalam bentuk diagram yaitu diagram fase atau diagram kesetimbangan.

Banyak perubahan struktur mikro terjadi pada saat transformasi fase yaitu perubahan yang terjadi diantara dua fase atau lebih karena temperatur berubah. Gejalanya bisa berupa transisi dari satu fase ke fase lain atau terbentuk fase baru atau hilangnya sebuah fase. Diagram kesetimbangan fase menggambarkan hubungan antara temperatur dan komposisi dan kuantitas fase-fase pada kesetimbangan.

Paduan biner : (binary alloy) adalah paduan yang terdiri dari dua komponen (contoh : Cu – Ni)

Diagram fase paduan biner Cu – Ni bisa dilihat pada gambar 9.2.

Sumbu y : temperatur

Sumbu x : komposisi paduan (dalam % berat – bawah, dalam % atom – atas).

3 daerah pada kurva : - α (fase α) → struktur fcc

- L (fase cair)

- $\alpha + L$ (fase α + cair).

Fase α adalah solid solution Ni – Cu \rightarrow substitusi

Solid solution Ni – Cu : - Ni dan Cu sama – sama mempunyai struktur FCC.
- jari –jari atom yang hampir sama.
- elektro-negatif yang hampir sama.
- valensi yang sama.

- Garis liquidus : garis antara l dan $\alpha + L$.
- Garis solidus : garis antara α dan $\alpha + L$.

Pada sistem biner, jika diketahui komposisi dan temperatur kesetimbangan, 3 informasi yang diperoleh :

1. Fase paduan
2. Komposisi fase
3. Persen atau fraksi fase.

Mencari komposisi fase pada daerah 2 fase :

- titik B pada gb. 9.2 : (35 wt% Ni – 65 wt% Cu pada 1250^o C)

1. Tarik garis horisontal melalui B (“tie line”)
2. Tandai perpotongan garis dengan kurva di kedua garis
3. Tarik garis tegak lurus pada perpotongan kurva terhadap sumbu x, komposisi paduan bisa didapat.

- Perpotongan dengan garis liquidus C_L : 31,5 wt% Ni – 68,5 wt% Cu (gambar 9.2b)

- Perpotongan dengan garis solidus C_α : 42,5 wt% Ni – 57,5 wt% Cu

Mencari persen atau fraksi fase

- Pada daerah 1 fase : titik A pada gb. 9.2b
 \rightarrow 100 % α .

- Pada daerah 2 fase : titik B pada gb 9.2b :

Digunakan garis horisontal (tie line) dan prosedur lever rule (hukum tuas).

Prosedurnya hukum tuas sbb:

1. Tarik garis horisontal pada temperatur yang diketahui (titik B) (garis tie line).
2. Diperoleh komposisi alloy keseluruhan, C_o .
3. Fraksi sebuah fase dihitung dengan mengambil panjang dari komposisi alloy keseluruhan, C_o ke batas fase yang lainnya dan dibagi dengan panjang total tie line (panjang $C_L - C_\alpha$).
4. Fraksi fase yang lain dilakukan dengan cara yang sama.

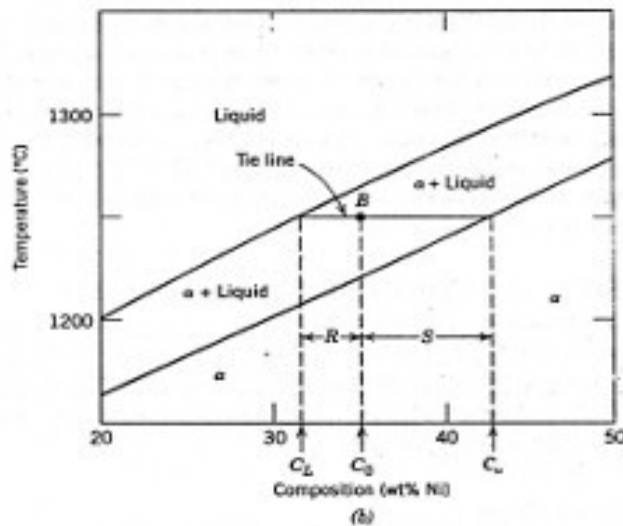
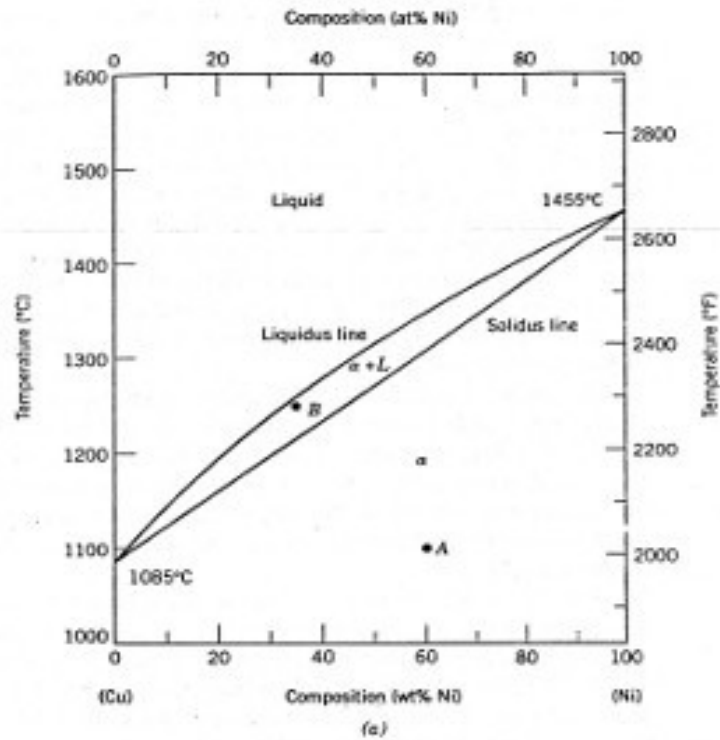


FIGURE 9.2 (a) The copper-nickel phase diagram. (Adapted from *Phase Diagrams of Binary Nickel Alloys*, P. Nash, Editor, 1991. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH 44073-0002.) (b) A portion of the copper-nickel phase diagram for which compositions and phase amounts are determined at point B.

5. Jika diinginkan dalam persen, fraksi dikali 100. Jika komposisi dalam % berat, maka fraksi adalah fraksi massa (berat).

$$W_L = \frac{S}{R + S} \qquad W_L = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L}$$

W_L = fraksi berat fase L

C_α = komposisi fase α

C_L = komposisi fase L

C_0 = komposisi keseluruhan

Sebagai contoh, lihat gambar 9.2.

$$W_L = \frac{42,5 - 35}{42,5 - 31,5} = 0,68$$

Dengan cara yang sama untuk fase α

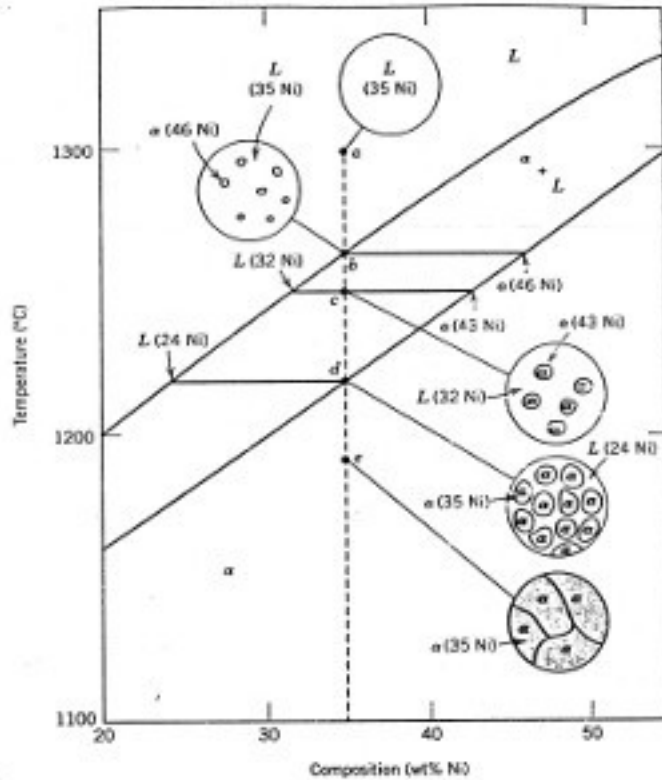
$$\begin{aligned} W_\alpha &= \frac{R}{R+S} \\ &= \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L} \\ &= \frac{35 - 31,5}{42,5 - 31,5} = 0,32 \end{aligned}$$

PERKEMBANGAN STRUKTUR MIKRO

Pada gambar 9.3 diperlihatkan diagram fase Cu – Ni, jika pendinginan terjadi sangat lambat dari fase L ke fase α untuk bahan 35 wt% Ni – 65 wt% Cu dari temperatur 1300 °C maka terjadi :

TITIK a = fase L : 35 Wt% Ni.
 Fase α : -
 b = Fase L : 35 Wt% Ni.
 Fase α : 49 Wt% Ni.
 c = Fase L : 30 Wt% Ni.
 Fase α : 43 Wt% Ni.
 d = Fase L : 23 Wt% Ni.
 Fase α : 35 Wt% Ni.
 e = Fase L : 35 Wt% Ni.

FIGURE 9.3 Schematic representation of the development of microstructure during the equilibrium solidification of a 35 wt% Ni-65 wt% Cu alloy.



Jika pendinginan terjadi lebih cepat maka terjadi segregasi yaitu distribusi yang tidak merata yang terjadi di dalam butir. Pada pusat butir yang pertama membeku akan kaya oleh bahan yang mempunyai titik leleh tinggi, bahan yang mempunyai titik leleh rendah akan naik manjauhi pusat butir. Jadi terjadi gradien konsentrasi pada butir (gb. 9.4). Fenomena ini disebut “cored structure”.

Kelemahan “cored structure” :

- jika dipadatkan, akan cepat meleleh.
- mengurangi kekuatan mekanik pada temperatur tinggi.

Komposisi bahan akan mempengaruhi kekuatan tarik dan keuletan bahan tersebut (gb. 9.5).

FIGURE 9.4 Schematic representation of the development of microstructure during the nonequilibrium solidification of a 35 wt% Ni–65 wt% Cu alloy.

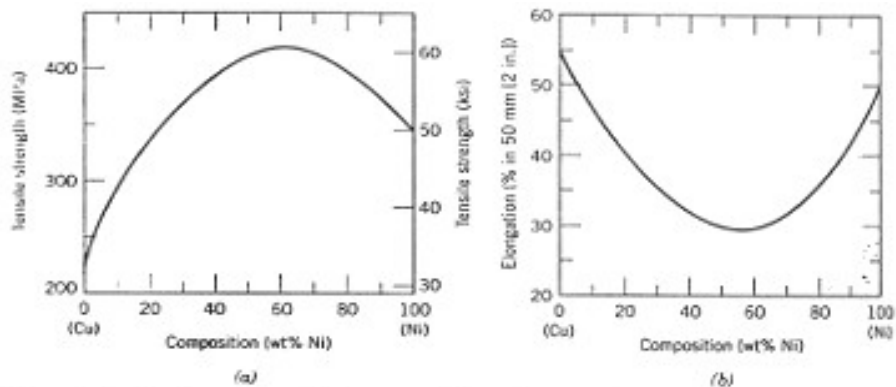
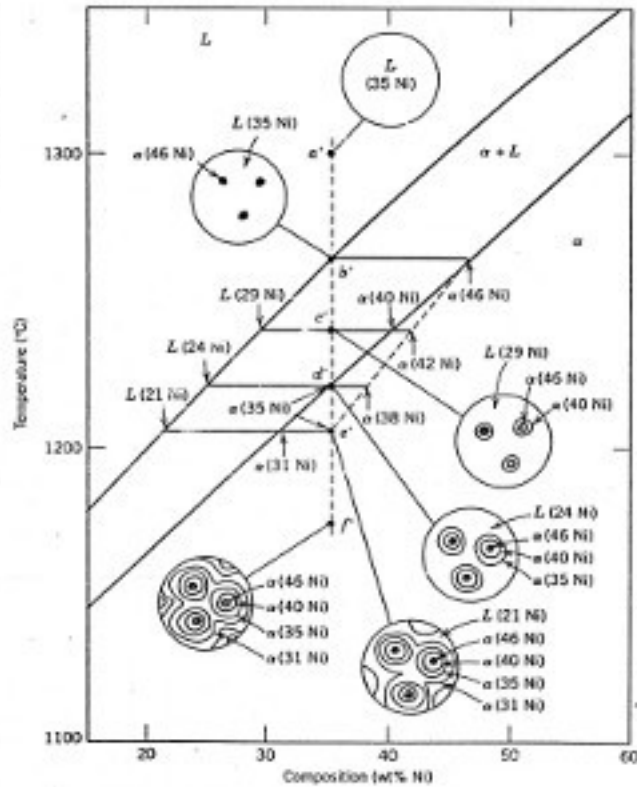


FIGURE 9.5 For the copper–nickel system, (a) tensile strength versus composition, and (b) ductility (%EL) versus composition at room temperature. A solid solution exists over all compositions for this system.

SISTEM EUTECTIC BINER :

Reaksi eutectic : phase liquid berubah menjadi dua fase padat pada proses pendinginan.



Diagram fase untuk reaksi eutectic adalah paduan Cu – Ag. (gb. 9.6).

Pada diagram fase Cu – Ag terdapat tiga daerah 2 fase yaitu : $\alpha + L$, $\beta + L$, $\alpha + \beta$

α adalah fase kaya Cu.

β adalah fase kaya Ag.

Titik E : titik eutectic.

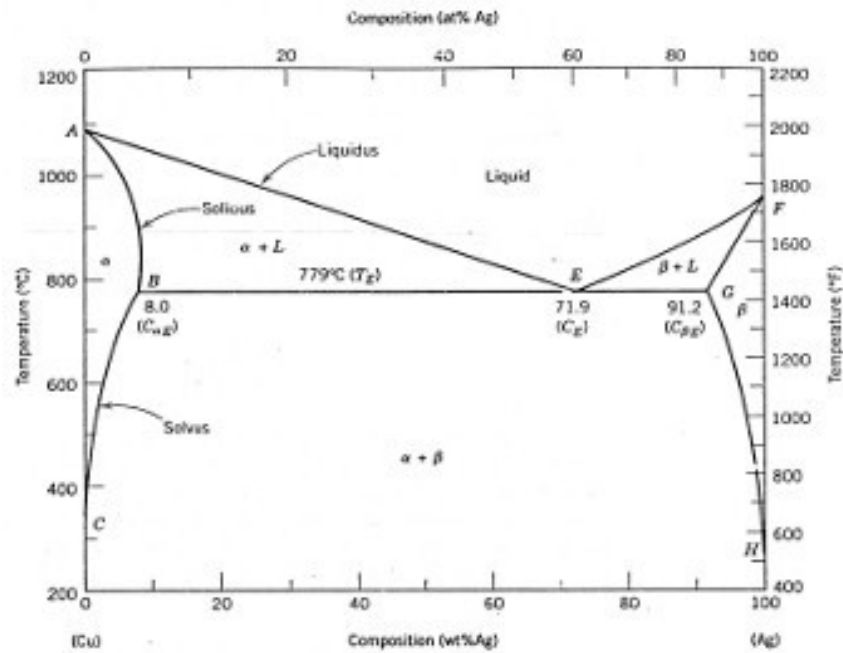


FIGURE 9.6 The copper-silver phase diagram. (Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski, Editor-in-Chief, 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH 44073-0002.)

PERKEMBANGAN STRUKTUR MIKRO PADA PADUAN EUTECTIC.

Perubahan mikro struktur untuk bahan Pb – Sn bisa dilihat pada gb. 9.9, 9.10, 9.11.

Pada gambar 9.9 adalah terbentuknya fase tunggal α pada pendinginan dari temperatur 350 °C, 2 wt% Sn s/d 20 °C.

Pada gambar 9.10 adalah terbentuknya fase $\alpha + \beta$ pada proses pendinginan pada titik eutektoid.

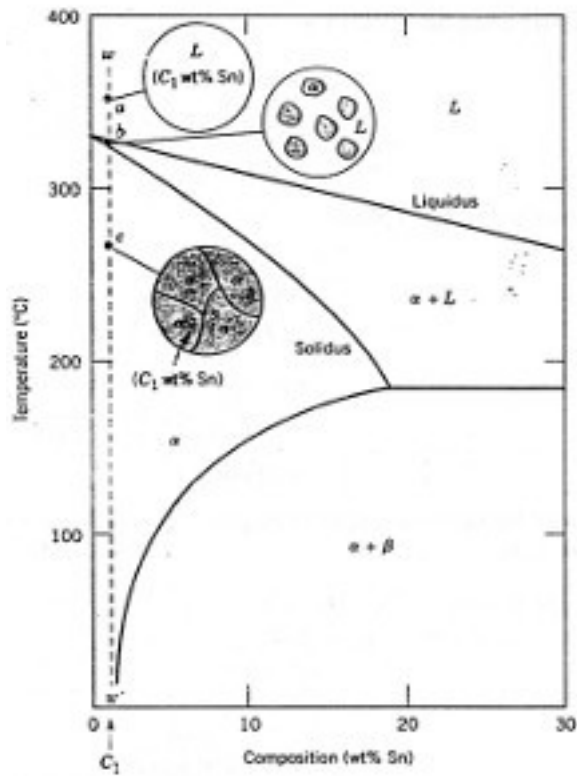


FIGURE 9.9 Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead-tin alloy of composition C_1 as it is cooled from the liquid-phase region.

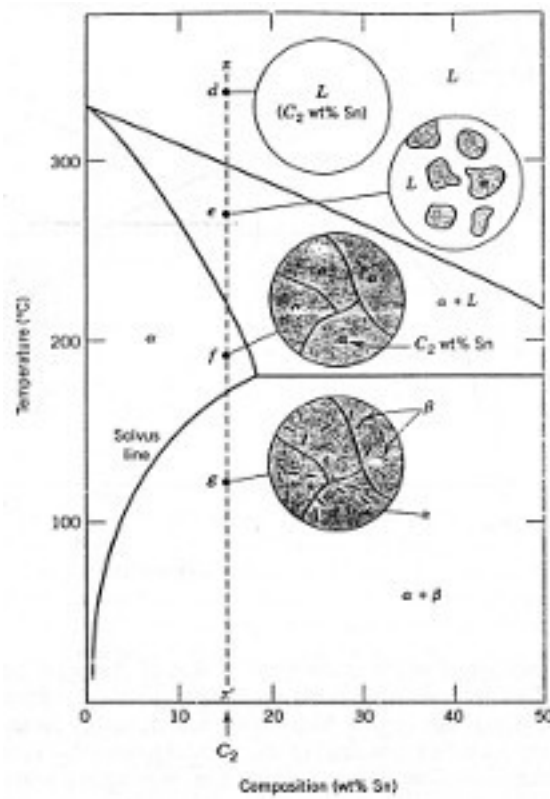
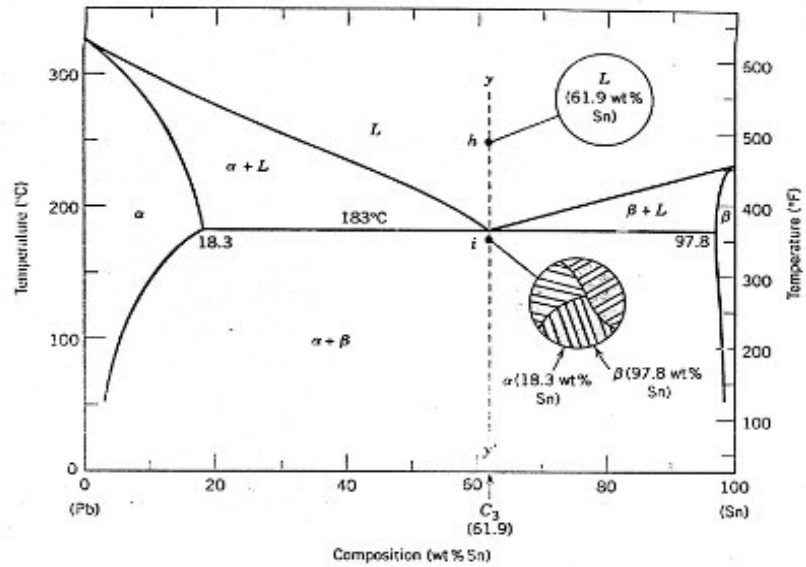


FIGURE 9.10 Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead-tin alloy of composition C_2 as it is cooled from the liquid-phase region.

FIGURE 9.11
Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead-tin alloy of eutectic composition C_3 above and below the eutectic temperature.



Pada pendinginan melewati temperatur eutectic (Gb. 9.11), struktur mikro yang terbentuk adalah struktur yang berbentuk lapisan atau lamellae (lapisan), struktur seperti ini disebut struktur eutectic.

Pada pendinginan pada komposisi antara α dan titik eutectic akan terbentuk eutectic α , primary α , β . (gb. 9.14)

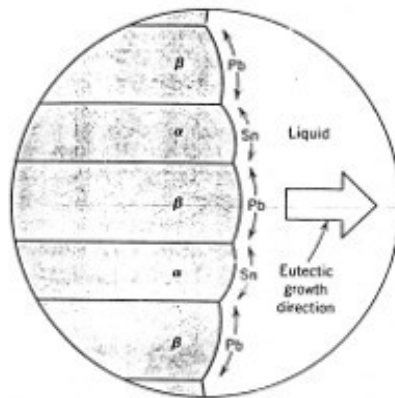


FIGURE 9.13 Schematic representation of the formation of the eutectic structure for the lead-tin system. Directions of diffusion of tin and lead atoms indicated by colored and black arrows, respectively.

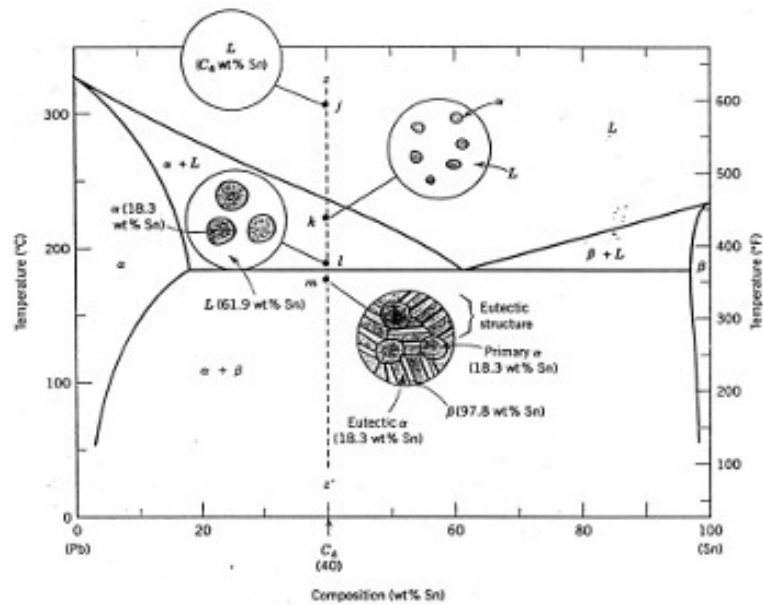


FIGURE 9.14 Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead-tin alloy of composition C_2 as it is cooled from the liquid-phase region.

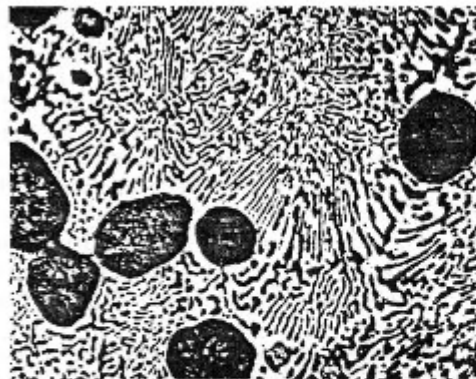


FIGURE 9.15 Photomicrograph showing the microstructure of a lead-tin alloy of composition 50 wt% Sn-50 wt% Pb. This microstructure is composed of a primary lead-rich α phase (large dark regions) within a lamellar eutectic structure consisting of a tin-rich β phase (light layers) and a lead-rich α phase (dark layers). 400 \times . (Reproduced with permission from *Metals Handbook*, Vol. 9, 9th edition, *Metallography and Microstructures*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

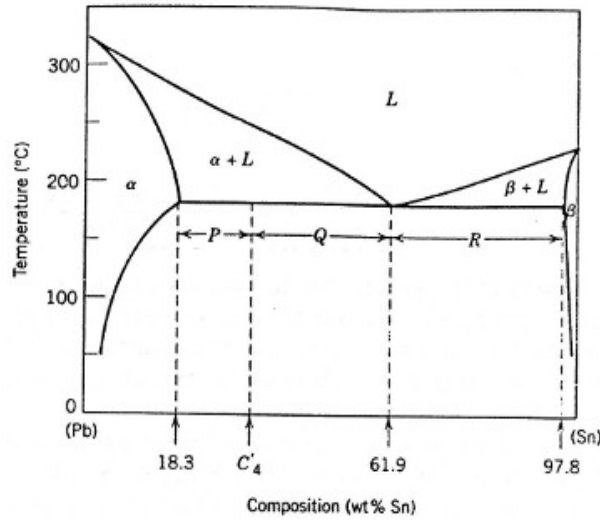
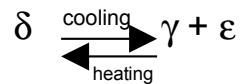


FIGURE 9.16 The lead-tin phase diagram used in computations for relative amounts of primary α and eutectic microconstituents for an alloy of composition C_4 .

REAKSI EUTECTOID DAN PERITECTIC

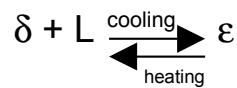
Reaksi eutectoid yaitu reaksi dimana terjadi perubahan fase padat menjadi 2 fase padat lainnya pada proses pendinginan atau sebaliknya.

Contoh : pd $T = 558\text{ }^{\circ}\text{C}$ 75 Wt% Zn – 25 Wt% Cu.



Reaksi peritectic yaitu pada proses pemanasan, satu fase padat berubah menjadi 1 fase padat dan 1 fase cair.

Contoh : pd $T = 598\text{ }^{\circ}\text{C}$ 78,6 Wt% Zn – 21,4 Wt% Cu.



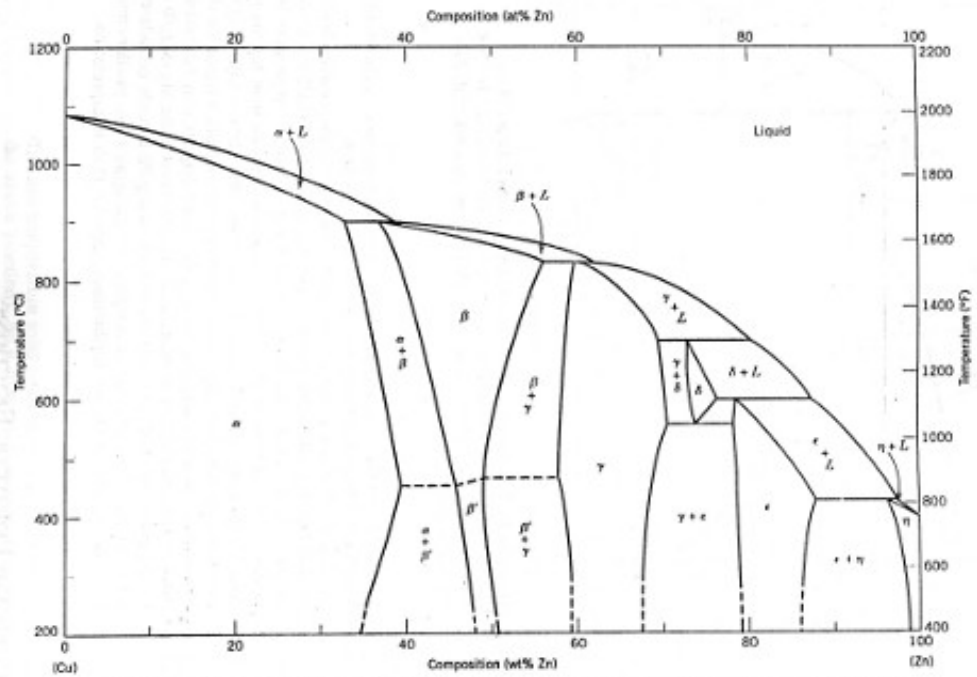


FIGURE 9.17 The copper-zinc phase diagram. (Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 2, T. B. Massalski, Editor-in-Chief, 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH 44073-0002.)

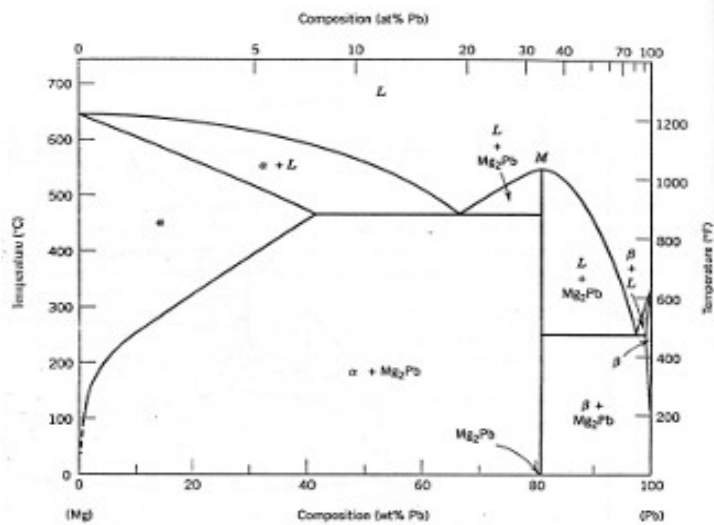


FIGURE 9.18 The magnesium-lead phase diagram. (Adapted from *Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys*, A. A. Nayeb-Hashemi and J. B. Clark, Editors, 1988. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH 44073-0002.)

TRANSFORMASI FASE KONGRUEN/SEBANGUN

Transformasi fase congruent adalah transformasi fase dimana tidak terjadi perubahan komposisi

Lawannya transformasi fase incongruent → terjadi perubahan komposisi.

Contoh transformasi fase congruent Titik M pada Gb. 9.18.

HUKUM FASE GIBBS

Konstruksi diagram fase dan kondisi kesetimbangan fase mengikuti hukum termodinamika.

j.w. gibbs memberikan formula yang disebut hukum fase gibbs :

$$P + F = C + N$$

P = jumlah fase

F = derajat kebebasan

C = jumlah komponen sistem

N = jumlah variabel non – komposisi.

Misal : sistem Cu – Ag (Gb. 9.6)

Tekanan konstan

$N = 1$ (hanya temperatur variabel non komposisi)

$$P + F = 2 + 1$$

$$= 3$$

$$F = 3 - P$$

Jika fase = fase tunggal (α atau β atau L)

$$P = 1$$

$$F = 3 - 1 = 2$$

$$F = 2$$

Artinya bahwa menerangkan karakteristik paduan mempunyai fase tunggal, kita harus menentukan 2 parameter yaitu komposisi dan temperatur.

SISTEM BESI KARBON

Besi dengan campuran karbon adalah bahan yang paling banyak digunakan.

DIAGRAM FASA BESI – BESI CARBIDA (Fe – Fe₃C)

Diagram fasa besi – besi carbida bisa dilihat pada gambar 9.22.

Diagram fasa besi – karbida dibatasi sampai komposisi karbon 6,7 %wt. Diatas 6,7 wt% bahan digolongkan kedalam bahan grafit.

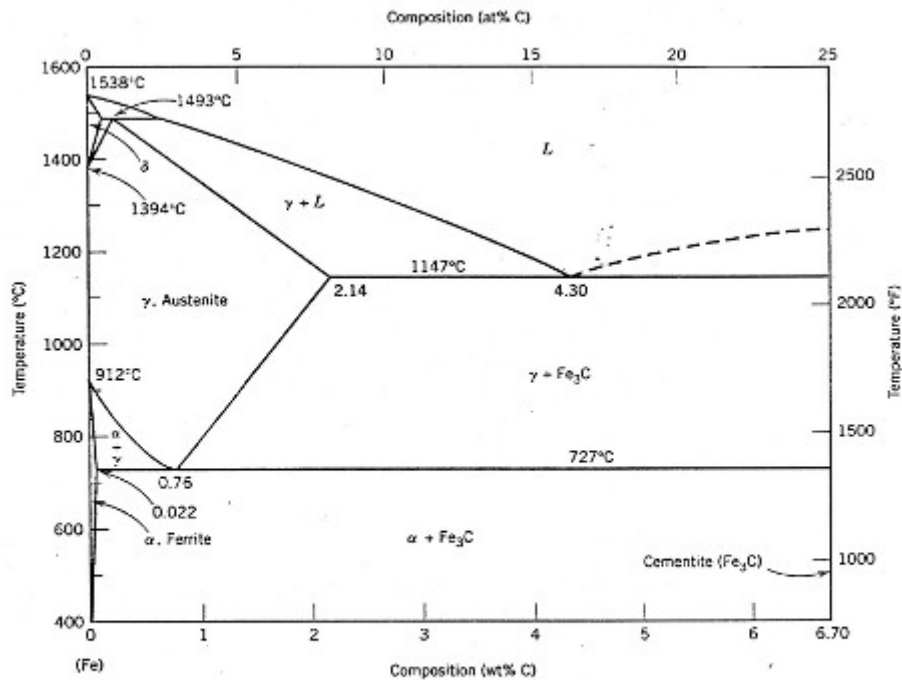


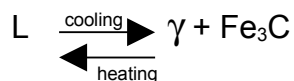
FIGURE 9.22 The iron-iron carbide phase diagram. (Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski, Editor-in-Chief, 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH 44073-0002.)

- besi murni : pada temperatur ruang disebut ferit atau besi α yang mempunyai struktur kristal BCC.
Ferit akan berubah menjadi austenit atau besi γ pada temperatur 912 °C(1674 °C) dengan struktur kristal FCC. Pada temperatur 1538 °C (2800 °F) austenite akan berubah menjadi besi ferit δ dan struktur kristal BCC.
- baja dan besi tuang adalah besi yang mempunyai kadar karbon kecil dari 6,7 wt%. Pada 6,7wt% terdapat kandungan Fe₃C sebesar 100 %wt, sehingga kandungan karbon 6,7 wt% disebut juga mempunyai kandungan 100 wt% Fe₃C (cementite).
- besi α (ferit) : komposisi maksimum C adalah 0,022 wt% pada 727 °C (1341 °F).
sifat bahan :
 - lunak
 - bisa dibuat magnet pada temperatur dibawah 768 °C

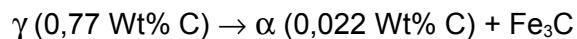
- kerapatan : 9,88 gr/cm³.

- austenite (besi γ) : maksimum karbon 2,11wt% pada 1148^oC. Struktur kristal FCC. Austenite bersifat non magnet.
- besi δ (ferit δ) : mempunyai bentuk yang sama dengan ferit α hanya temperatur yang berbeda yaitu antara 1394 ^oC sampai 1538 ^oC.
- cementite (Fe₃C) : terbentuk ketika batas kelarutan karbon pada besi α terlewati pada temperatur dibawah 727 ^oC. Fe₃C juga terbentuk dengan fasa γ pada temperatur 727 s/d 1148 ^oC. Sifat mekanik cementite adalah keras dan rapuh. Kekuatan beberapa baja bisa ditingkatkan dengan kandungan cementite.

- Reaksi eutectic terjadi pada 4,3 wt% C dan temperatur 1148 ^oC



- Reaksi eutectoid terjadi pada 0,77 wt% C dan temperatur 727 ^oC :



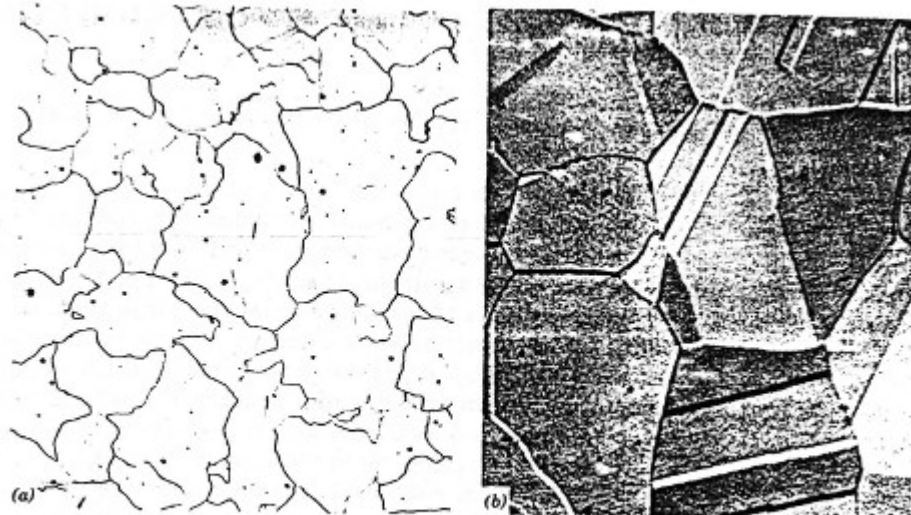


FIGURE 9.23 Photomicrographs of (a) α ferrite (90 \times) and (b) austenite (325 \times). (Copyright 1971 by United States Steel Corporation.)

BESI PADUAN (FERROUS ALLOY) :

Adalah dimana besi sebagai komponen utama dan karbon beserta komponen – komponen lainnya sebagai bahan paduan.

Berdasarkan kandungan paduan, besi paduan dibagi atas :

- Besi (iron)
 - Baja (steel)
 - Besi tuang (cast iron).
-
- Besi murni : kandungan karbon kurang dari 0,008 wt%, dan strukturnya ferit pada temperatur ruang.
 - Baja : kandungan karbon antara 0,008 – 0,11 wt% C struktur kristal : $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$.
 - Besi tuang : kandungan karbon antara 1,11 – 6,7 wt% C. Besi tuang komersial biasanya kandungan karbon < 4,5wt% C.

Transformasi fasa terjadi dari daerah γ ke daerah $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$. Pada titik eutektoid (gb. 9.24) austenite dengan komposisi 0,77 wt% C akan berubah menjadi ferit (0,022 wt% C) dan Fe_3C (6,7 wt% C). Struktur $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ disebut juga pearlite (gb. 9.25).

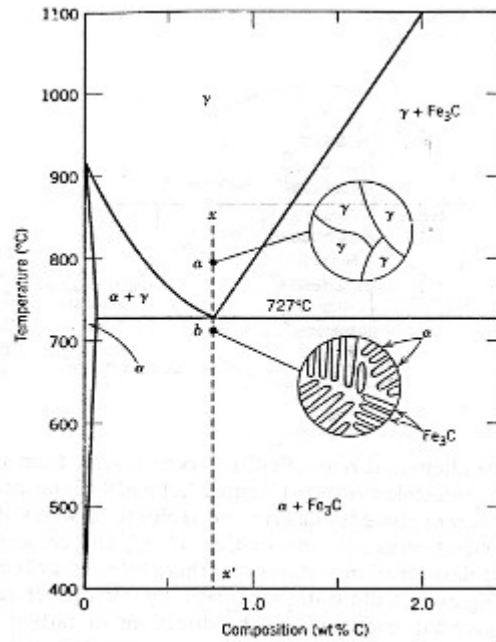


FIGURE 9.24 Schematic representations of the microstructures for an iron-carbon alloy of eutectoid composition (0.76 wt% C) above and below the eutectoid temperature.

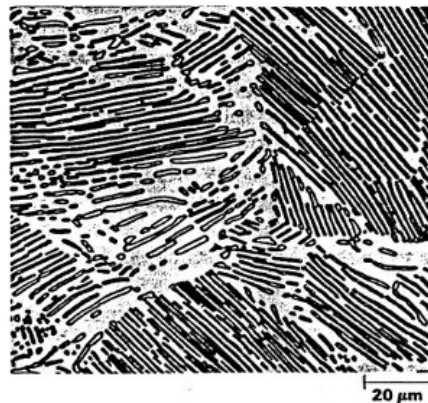


FIGURE 9.25 Photomicrograph of a eutectoid steel showing the pearlite microstructure consisting of alternating layers of α ferrite (the light phase) and Fe_3C (thin layers most of which appear dark). 500 \times . (Reproduced with permission from *Metals Handbook*, Vol. 9, 9th edition, *Metallography and Microstructures*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

PADUAN HYPOEUTECTOID

Pembentukan fasa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ dengan komposisi dibawah titik eutectoid disebut paduan hypoeutectoid. Proses pembentukannya bisa dilihat pada gambar 9.27. Struktur kristal yang terbentuk mempunyai fasa pearlite dan proeutectoid α .

Proeutectoid ferit (α) adalah ferit yang terbentuk sebelum terbentuknya pearlite.

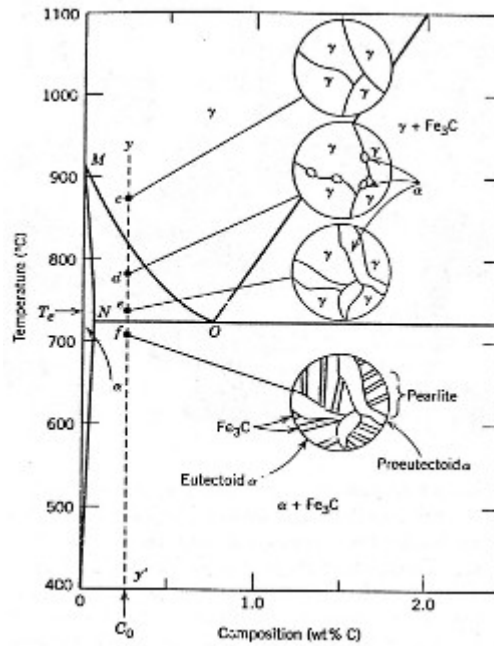


FIGURE 9.27 Schematic representations of the microstructures for an iron-carbon alloy of hypoeutectoid composition C_0 (containing less than 0.76 wt% C) as it is cooled from within the austenite phase region to below the eutectoid temperature.

Pada pembentukan hypoeutectoid :
(lihat Gb. 9.29),

$$W_p = \frac{T}{T + V} = \frac{C_0' - 0,022}{0,76 - 0,022} = \frac{C_0' - 0,022}{0,74}$$

W_p = fraksi pearlite.

$$W_{\alpha'} = \frac{V}{T + V} = \frac{0,76 - C_0'}{0,76 - 0,022} = \frac{0,76 - C_0'}{0,74}$$

$W_{\alpha'}$ = fraksi ferit proeutectoid.

PADUAN HYPEREUTCTOID

Pembentukan fasa $\alpha + Fe_3C$ dengan komposisi diatas titik eutectoid disebut paduan hypereutectoid. (gb. 9.30).

$$W_p = \frac{X}{V + X} = \frac{6,70 - C_l'}{6,70 - 0,76} = \frac{6,70 - C_l'}{5,94}$$

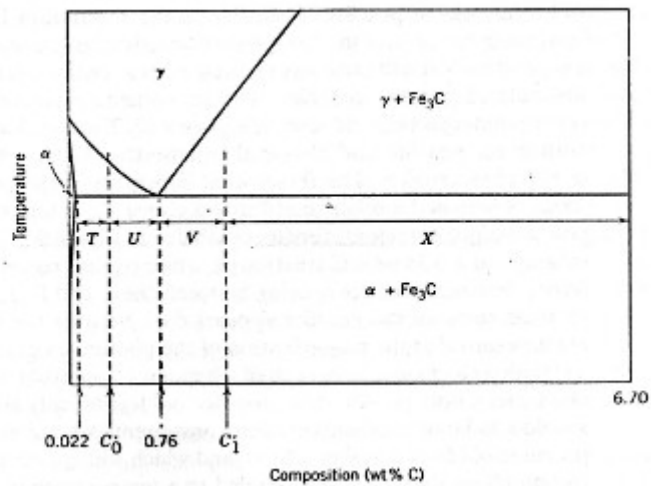
$$W_{Fe_3C} = \frac{V}{V + X} = \frac{C_l' - 0,76}{6,70 - 0,76} = \frac{C_l' - 0,76}{5,94} \quad W_{Fe_3C} = \text{fraksi sementit proeutectoid}$$

Proeutectoid sementit adalah : sementit yang terbentuk sebelum terbentuknya pearlite.

FIGURE 9.28
 Photomicrograph of
 a 0.38 wt% C steel
 having a micro-
 structure consisting of
 pearlite and
 proeutectoid ferrite.
 635X.
 (Photomicrograph
 courtesy of Republic
 Steel Corporation.)



FIGURE 9.29
 A portion of the
 Fe-Fe₃C phase
 diagram used in
 computations for
 relative amounts of
 proeutectoid and
 pearlite
 microconstituents for
 hypoeutectoid (C₀)
 and hypereutectoid
 (C₁) compositions.



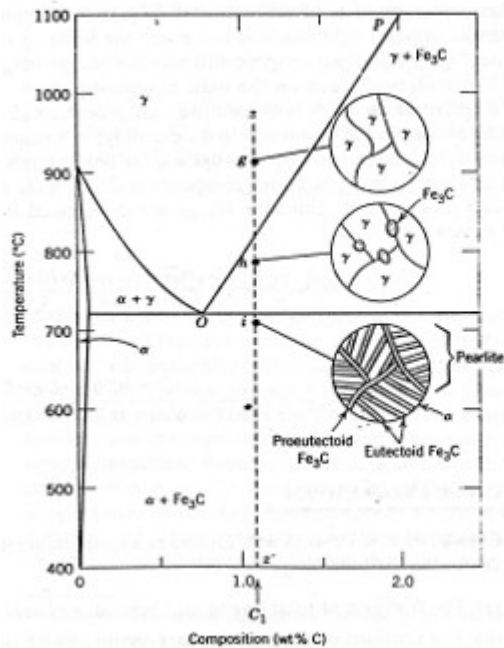


FIGURE 9.30 Schematic representations of the microstructures for an iron-carbon alloy of hypereutectoid composition C_1 (containing between 0.76 and 2.14 wt% C), as it is cooled from within the austenite phase region to below the eutectoid temperature.



FIGURE 9.31 Photomicrograph of a 1.4 wt% C steel having a microstructure consisting of a white proeutectoid cementite network surrounding the pearlite colonies. 1000 \times . (Copyright 1971 by United States Steel Corporation.)

Contoh Soal

Untuk paduan 99,65 wt% Fe – 0,35 wt% C pada temperatur sedikit di bawah titik eutektoid, carilah:

- fraksi total fase ferit dan sementit.
- fraksi ferit proeutectoid dan pearlite proeutectoid.
- fraksi ferit eutektoid.

Jawab

- fraksi total fase ferit dan sementit

$$C_0' = 0,35 \text{ wt\% C}$$

$$W_{\alpha} = \frac{6,70 - 0,35}{6,70 - 0,022} = 0,95$$

dan

$$W_{Fe_3C} = \frac{0,35 - 0,022}{6,70 - 0,022} = 0,05$$

b. *fraksi ferit proeutectoid dan pearlite proeutectoid*

$$W_p = \frac{0,35 - 0,022}{0,76 - 0,022} = 0,44$$

dan

$$W_{\alpha'} = \frac{0,76 - 0,35}{0,76 - 0,022} = 0,56$$

c. *fraksi ferit eutectoid*

Semua ferit, baik sebagai proeutektoid ataupun sebagai eutektoid (dalam pearlit). Maka jumlah kedua fraksi ferit ini sama dengan jumlah total ferit, sehingga:

$$W_{\alpha'} + W_{al} = W_{\alpha}$$

dimana W_{al} adalah fraksi total paduan yang berupa ferit eutektoid. Maka:

$$W_{al} = W_{\alpha} - W_{\alpha'} = 0,95 - 0,56 = 0,39$$

PENGARUH ELEMEN PADUAN LAINNYA .

Elemen paduan lain seperti Cr, Ni, Ti, dll, memberikan pengaruh yang besar pada diagram fasa Fe – C. Gb. 9.20 memperlihatkan pengaruh paduan ini terhadap posisi batas perubahan fasa. Gb. 9.30 memperlihatkan perubahan komposisi eutektoid karena logam paduan.

Soal-soal

1. Sebutkanlah variabel-variabel yang menentukan struktur mikro sebuah paduan.
2. Kondisi termodinamik apa yang harus dipenuhi supaya terjadi kondisi kesetimbangan.
3. Sebutkan fase-fase yang dijumpai dari komposisi fase paduan berikut:
 - a. 90 wt% Zn – 10 wt% Cu pada 400^o C.
 - b. 75 wt% Sn – 25 wt% Pb pada 175^o C.
 - c. 55 wt% Ag – 45 wt% Cu pada 900^o C.
 - d. 30 wt% Pb – 70 wt% Mg pada 425^o C.
 - e. 2,12 kg Zn dan 1,88 kg Cu pada 500^o C.
 - f. 8,2 mol Ni dan 4,3 mol Cu 1250^o C.
4. Untuk paduan dengan komposisi 74 wt% Zn – 26 wt% Cu, sebutkanlah fase-fase yang dijumpai pada temperatur-temperatur berikut: 800^o C, 750^o C, 680^o C, 600^o C, dan 500^o C.
5.
 - a. Jelaskan dengan ringkas fenomena dari pembentukan *cored structured* dan apa penyebab terjadinya.
 - b. Sebutkanlah satu konsekuensi yang tidak diinginkan dari pembentukan struktur inti (*cored structured*).
6. Misalkan 3,5 kg austenite mengandung 0,95 wt% C, didinginkan ke suhu di bawah 727^o C.
 - a. Apakah fase dari proeutektoid?
 - b. Berapa kg berat ferit total dan sementit?
 - c. Berapa kg berat fase pearlite dan proeutektoid?
 - d. Buatlah sketsa struktur mikro yang terjadi, dan beri nama.