

高等学校教材

金属学基础知识

陈毓龙主编

高等教育出版社

高等学校教材



金属学基础知识

陈毓龙主编

高等教育出版社

本书原为南京工学院金属工艺学教研组编《金属工艺学》(1965年修订本)中的第一章,为了满足土建、化工类专业“金属工艺学”课程的教学需要,特单独印行出版。

本书内容包括:金属及合金的性能,金属的构造与结晶,合金的构造与状态图,铁碳合金状态图,钢的热处理,钢,铸铁,有色金属及其合金等。

本书由西安交通大学孙成璠审阅,并经高等工业学校机械课程教材编审委员会金属工艺学课程教材编审小组复审通过。

金属学基础知识

陈毓龙主编

北京市书刊出版业营业许可证出字第119号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号K15010·1185 开本 850×1168 $1/32$ 印张2

字数45,000 印数0,001—2,000 定价(7)¥0.25

1965年7月第1版 1965年7月北京第1次印刷

目 录

一、概述	1
二、金属及合金的性能	1
三、金属的构造与结晶	4
四、合金的构造与状态图	10
五、铁碳合金状态图	20
六、钢的热处理	28
七、钢	39
八、铸铁	48
九、有色金属及其合金	54

23.6.61

金屬学基础知识

一、概述

金屬学是研究金屬及合金(合金是由几种金屬或金屬与非金屬熔炼而成)的构造与性能之間关系的科学。

金屬学研究的内容包括下列几个方面:

(1)金相学——研究金屬及合金的内部构造, 以及研究其成分、溫度、构造之間的关系。

(2)热处理——研究改变金屬及合金的构造和性能的方法。

(3)金屬材料——研究金屬及合金的性能和它們的用途。

金屬学与各种机械制造工艺(鑄造、压力加工、焊接、切削加工)是密切相关的。只有掌握了金屬及合金的构造和性能, 才能正确地制定各种加工工艺; 合理地选择和使用材料, 从而延长零件的寿命, 降低零件的成本。掌握了金屬学的有关知識后还可以帮助熔制出具有各种不同的物理、化学和机械性能的合金。

二、金屬及合金的性能

金屬及合金的性能包括机械、物理、化学和工艺等方面的性能。

(一)机械性能

金屬及合金的机械性能主要以强度和硬度来表示。

1. 强度 金屬及合金在外力作用下抵抗破坏的能力。由于外力作用的状态不同, 强度可分为:

(1) 靜力强度 即外力緩慢地作用于金屬时的强度。如果作用的外力是拉力則得到抗拉强度。如果作用的外力是压力、弯曲力或扭力,則相应地得到抗压强度、抗弯强度或抗扭强度。强度大小的确定,必須經過拉伸、壓縮、弯曲和扭轉試驗。在工程中最基本的試驗是拉伸試驗,由于抗压、抗弯和抗扭强度都与抗拉强度有一定的关系,所以可以根据拉伸試驗的結果来估計其他强度。

进行拉伸試驗时,把預先准备好、具有一定尺寸和形状的試样安装在拉力試驗机上,然后逐渐增加載荷,拉伸試样,直至拉断为止。拉伸过程中,試驗机自动地記錄了每一瞬間的載荷与变形,并繪出表示它們之間关系的曲綫,此曲綫称为拉伸曲綫。图1为軟鋼的拉伸图,图中纵坐标表示載荷,横坐标表示变形(伸长量)。

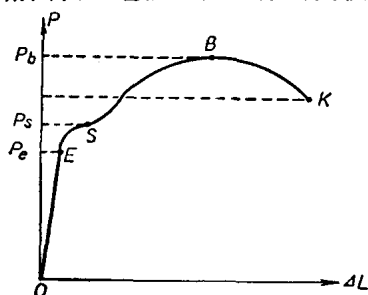


图1 拉伸曲綫

图中纵坐标表示載荷,横坐标表示变形(伸长量)。

当載荷不超过 P_e 时,拉伸曲綫是一直綫,即变形与外力成正比。此时只产生彈性变形,但当外力去除后变形便立即消失。

当載荷继续增加超过 P_e 时,金屬便产生塑性变形(永久变形)。此时外力去除后試样不能完全恢复原状(只有彈性变形部分的恢复),故 P_e 称彈性极限載荷。

当載荷增加至 P_s 时,虽然外力維持不变,但試样的变形仍继续增加,这种現象叫做屈服。引起試样屈服的載荷称为屈服載荷, S 点称为屈服点。

当載荷继续增加时,变形便剧烈增加,在达到某一最大值 P_b 时,試样局部的截面縮小产生細頸。由于截面逐渐縮小,因此总載荷下降,并在 K 点时断裂。

当材料受外力作用时,在其内部也产生了抵抗力。单位横截面积上的抵抗力称为应力。其表示方法是:

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

式中 σ ——应力(公斤/毫米²); P ——外力(公斤);
 F ——横截面面积(毫米²)。

对应于彈性极限载荷 P_e 时的应力为 $\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$ 公斤/毫米², F_0 为試样原来横截面面积。軟鋼的 σ_e 約为 20 公斤/毫米²。

对应于屈服点的应力 $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$ 公斤/毫米², 称为屈服极限。軟鋼的 σ_s 約为 24 公斤/毫米²。

对应于最大载荷 P_b 时的应力 $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$ 公斤/毫米², 称强度极限。軟鋼的 σ_b 約为 40 公斤/毫米²。

拉伸試驗不仅可以确定强度, 而且还能确定金屬及合金的塑性, 即金屬及合金产生变形而不破坏的能力。塑性的指数是以延伸率 δ 和截面收縮率 ψ 来表示的。

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} 100\%;$$

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%.$$

式中 L_0, L 为試样的原长和拉断后的长度; F_0, F 为試样的原截面面积和拉断后断口处的截面面积。

(2) 冲击强度(冲击韌性) 金屬及合金抵抗冲击力作用的能力。冲击韌性是以金屬及合金在冲击力作用下破坏时, 单位面积上所吸收的功来表示的, 单位为公斤米/厘米²。它是在專門的冲击試驗机上进行的。

当設計承受冲击力作用的零件(如空气錘的錘杆以及冲模和鍛模的零件)时, 必須考虑所用材料的冲击韌性。

2. 硬度 金屬及合金抵抗硬物压入的能力。工程中常用来測

定硬度的方法有：布氏法和洛氏法。布氏法是以淬火的鋼球在一定的压力下压入被测金属的表面，然后根据压痕的面积确定硬度值，此值称布氏硬度，以 HB 表示。布氏法用来测定較軟的金属材料。洛氏法是以金剛石錐体在一定的压力下压入被测金属表面，根据压痕的深度确定硬度值，此值称洛氏硬度，以 HRC 表示。洛氏法用来测定硬度高的金属材料，如淬过火的鋼必須用洛氏法测定。利用專門的表可以将洛氏硬度换算成布氏硬度，例如 HRC 65 相当于 HB 683，HRC 30 相当于 HB 286。材料愈硬，数值愈大，反之，数值愈小。

(二)物理性能

金属及合金的主要物理性能有比重、熔点、膨胀系数、导电性、导热性、磁性等。可按照零件的技术要求来选择具有某些特殊物理性能的金属及合金，如比重小、导电性高、导热性高、熔点高的合金等。

(三)化学稳定性

金属及合金在常温或高温时抵抗各种活泼介质化学作用的能力。为了制造在具有腐蚀作用的介质中工作的零件可采用不锈鋼、耐酸鋼等。

(四)工艺性能

这不是一种独立的性能，而是物理、化学、机械性能的综合。按工艺方法不同可分为鑄造性能、可鍛性、可焊性、可切削性。这些性能将在以后各章中分别介绍。

三、金属的构造与结晶

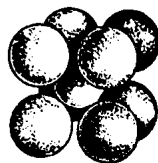
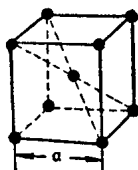
(一)金属的结晶构造

金属的性能由其内部的构造决定。一切固体按其构造可分为

非晶体与晶体两种。非晶体的特点是原子的排列不規則、紊乱,如玻璃、瀝青等。晶体的特点是它的原子都依一定的次序排列,这种排列在空間作有規律的周期性的重复。所有的固体金屬都是晶体。原子的这种有規律的排列称为空間格子或晶格。晶格的基本单位称为晶胞或单位晶格。空間格子就是晶胞在空間重复排列的結果。

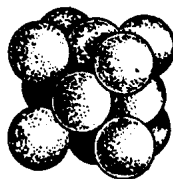
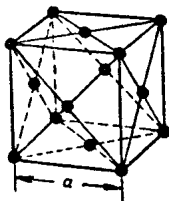
金屬晶格最普通的形式有以下三种:

(1)体心立方晶格(图2, a)——属于这类晶格的金屬有鉻、鈮、鎢、鉬、 α 铁等。



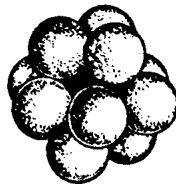
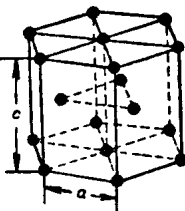
a)

(2)面心立方晶格(图2, b)——属于这类晶格的金屬有鋁、銅、鎳、鉛、金、銀及 γ 铁等。



b)

(3)密排六方晶格(图2, c)——属于这类晶格的金屬有鋅、鎂、鈹、鐳等。



c)

晶格的尺寸大小用晶格常数来表示。所謂晶格常数是指数晶格內原子的中心距离,单位为 $\text{\AA} = 10^{-8}$ 厘米。立方晶格由一个晶格常数,即以其棱长来表示。六方晶格則由二个晶格常数,即以其棱柱高 c 和边长 a 来表示。

图2 晶胞的形式

立方晶格的晶格常数在 $2.5 \sim 5.0 \text{\AA}$ 之間。六方晶格的晶格常数 a 在 $2.0 \sim 3.0 \text{\AA}$, c 在 $3.5 \sim 6.0 \text{\AA}$ 之間。

(二) 金屬的結晶过程

1. 金屬的冷凝过程 液体金屬中原子的活动性很大, 原子沒有严格的排列規則。但当溫度逐漸下降时, 原子的活动范围逐漸縮小。当达到凝固溫度时, 在液体金屬中个别微小体积內的原子将开始作有規則的排列。这些有規則排列的原子就可能形成結晶的核心(不熔的細小粒子, 也可成为晶核)。溫度繼續下降, 在結晶核心的周圍逐漸添加原子而长大, 形成許多小晶体, 如图 3 所示。

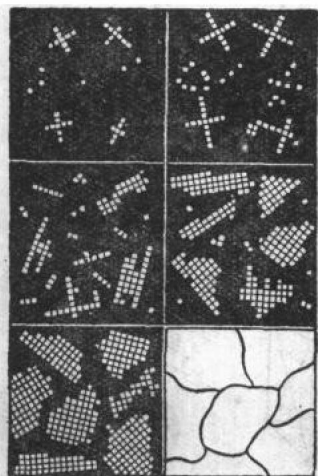


图 3 結晶过程示意图

在晶体长大的同时, 新的晶核仍然在繼續产生。起初各个晶体都是按照自己的方位自由地生长着, 并具有規則的外形。但生长着的晶体彼此接触后, 在接触处被迫停止生长, 規則的外形便遭到了破坏。凝固后, 便形成了許多不同外形的晶体, 这些晶体通称为晶粒, 晶粒之間的分界面(綫)称为晶界。

由上述可知, 金屬的凝固过程就是一个結晶过程, 它可分为二个步骤: 晶核的形成和晶核的长大。結晶后的金屬是由許多晶粒构成的多晶体; 每个晶粒內部的原子都作有規則的排列, 但晶粒的外形却是不規則的。

实际上, 金屬在結晶过程中晶核沿各个方向的生长速度是不一致的, 晶核主要是沿着生长速度最大的某几个方向发展, 沿这几个方向形成了晶体的主干, 通称为一次軸(图 4)。由于新的原子层不断的从液体中析出并堆积上来, 一次軸随之而分出二次軸, 二次軸又会分出三次軸等。这样下去就使晶体逐步形成树枝状, 称为枝晶。如果有相当多的金屬填满各軸間的一切空間, 那么凝固

后,枝晶就不会显露出来。因此,枝晶构造通常只是在鋼錠中最后冷却的表面上看到。

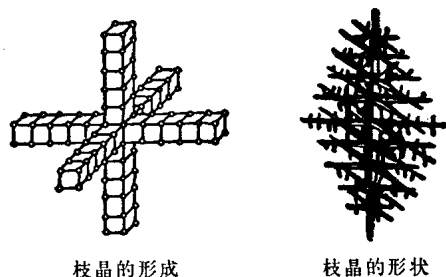


图4 枝晶示意图

2. 冷却曲线及过冷度 純金属的结晶过程可以用温度-时间作为坐标的冷却曲线来表示。图5, a 为緩慢冷却情况下的冷却曲线。液体金属在点1开始凝固, 点2凝固結束。由于凝固时放出潜热, 补偿了傳走的热量, 所以1-2线是水平线, 即金属是在恒温下结晶的。

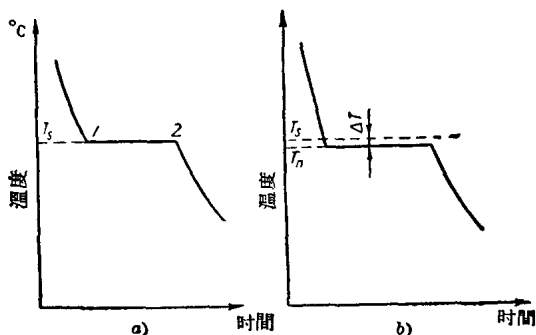


图5 純金属的冷却曲线

实际上, 金属到达凝固温度 T_s 时还未结晶, 只有当温度降至 T_n 时才开始迅速地结晶。这种现象称为过冷(图5, b)。温度差 $T_s - T_n = \Delta T$ 称为过冷度。金属的结晶总是有过冷现象发生, 过冷度的大小与金属的种类和冷却速度有关。同一金属其冷却速度愈

快, 则过冷度也愈大。

3. 过冷度与晶粒大小的关系 金属在凝固后晶粒的大小取决于下面两个因素:

(1) 单位时间(秒)内在单位体积(毫米³)中所产生晶核的数目(1/毫米³·秒), 通常称为生核率。

(2) 晶体在单位时间(秒)内的生长率(毫米/秒)。

生核率和晶体生长率与过冷度有关, 如图6所示。由图可

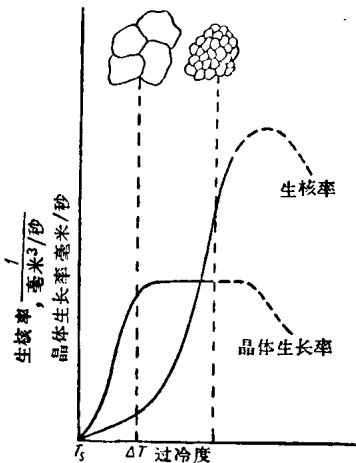


图6 过冷度对生核率与生长率的影响

知, 随着过冷度的增加(即随着冷却速度的增加), 生核率和生长率也随之增加, 而达到某一最大值时, 随着过冷度的增加反而急速减小(实际上, 金属凝固时达不到的这样的过冷度)。

在结晶过程中, 如果单位时间内形成的晶核数目愈多, 即生核率愈大, 同时生长率愈小, 则凝固后金属的晶粒愈细。反之, 如生核率愈小, 而生长率愈大, 则凝

固后的晶粒愈粗。

由图6可知, 在缓慢冷却时, 即过冷度很小时, 生核率较低, 而生长率较高, 故所得到的晶粒较大。如加大冷速, 则由于金属受到强烈的过冷而产生大量的晶核, 且生长率不再增加, 故所得到的晶粒较细。

晶粒的大小与金属的性能有着密切的关系。金属的晶粒愈细, 则强度、韧性愈好, 所以一般总希望得到细晶粒。

由上述可知, 细晶粒可用增加冷却速度的方法来得到。但增加冷却速度是有一定限度的, 所以在近代工业中还采用另一种方

法来控制晶粒的大小。它是把某些高熔点的物质加入熔化的金屬內,这些物质的质点在液体金屬內起着晶核的作用,这样就等于提高了生核率,此法称为变质处理。加入的物质称为变质剂。灰口鑄铁和鋁硅合金就常进行变质处理。

4. 同素异晶轉变 某些金屬,例如铁、錳、錫等,凝固后在不同的溫度时,有着不同的晶格形式,这种因溫度改变而晶格也改变的过程称为同素异晶轉变。同素异晶轉变与液态金屬的結晶过程很相似。例如轉变过程也分两个步骤:新晶核的产生与晶核的长大;轉变过程中有潜热放出,因而也是在恒溫下进行的;也有过冷現象;新的晶粒大小也与过冷度的大小有相同的关系。

图7为純铁的冷却曲綫。由此曲綫可知,从液体凝固后所得到的的是体心立方晶格,其晶格常数为 $2.93\text{\AA}$, 通常称 δ 铁。当冷却

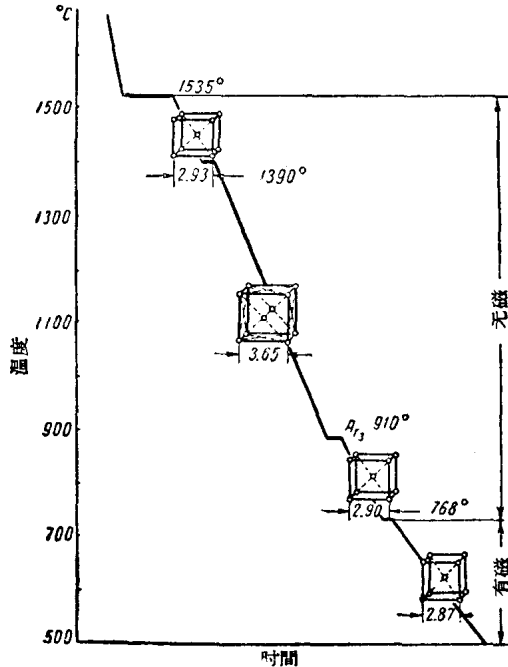


图7 純铁的冷却曲綫

到 1390°C 时发生同素异晶转变, δ 铁转变成面心立方晶格, 其晶格常数为 $3.65\text{\AA}$, 称 γ 铁。当温度降至 910°C 时, γ 铁又转变成体心立方晶格, 称 α 铁。图中 768°C 处的温度停顿并非由于同素异晶转变, 而是铁的磁性变化。有时亦将 $768\sim 910^{\circ}\text{C}$ 间的无磁性的 α 铁称为 β 铁, β 铁和 α 铁的晶格常数分别为 $2.90\text{\AA}$ 和 $2.87\text{\AA}$ 。

当铁发生同素异晶转变时, 就同时有体积的变化, 这种体积的变化是热加工中产生内应力的原因之一。

四、合金的构造与状态图

(一)合金的构造及其结晶

两种或两种以上的金属元素, 或金属与非金属元素相互熔合的产物, 并具有金属的性质就称为合金, 例如生铁就是铁与碳(并含有其他杂质)的合金。

在实际应用中是以合金为主, 因为纯金属不能满足工业上对金属材料所提出的各种不同的要求, 并且纯金属冶炼困难, 价格昂贵。只有对材料要求有特殊的物理、化学性能的部门中才使用纯金属, 例如, 电力工业中要求材料的导电性高而使用纯铜。

组成合金的元素称组元, 简称元。组元一般是指纯元素, 但稳定化合物亦可看成是一个组元。

由几个组元在各种不同的浓度下所构成的合金总称为系, 例如由二种元素组成的合金称为二元系。

系内均匀的部分称为相。相与相之间为明显的界限所分隔, 在分界线的二边, 其成分、结晶构造与性能有显著的不同。例如均匀的液体是单相, 当液体与固体同时存在时, 则为二相。但相的区别并非限于物质状态, 在固态下由于结晶构造的不同, 也会存在不同的相。

合金按其构造可分为下面三类:

1. 固溶体 組成合金的各組元在凝固后仍保持互相溶解的状态, 則形成固溶体。固溶体是一均匀晶体, 它的晶格与溶剂的晶格相同, 溶质原子溶入其中。因此固溶体是单相。根据溶解的方式不同, 固溶体分为置换固溶体 (图 8, a) 和間隙固溶体 (图 8, b) 两种。形成置换固溶体时, 溶剂晶格結点上的原子被溶质的原子所代替。形成間隙固溶体时, 溶质原子溶入溶剂晶格的空隙之中。例如, 碳原子可以溶入 α 铁的晶格空隙中, 形成間隙固溶体, 称为铁素体。置换固溶体根据溶解度不同又分为无限固溶体和有限固溶体。有限固溶体的溶解度在大多数的情况下是随溫度降低而减少。間隙固溶体的溶解度总是有限的。固溶体的性能与組元的原有性能不同, 一般來說它具有比組元更高的机械性能, 如具有較高的强度等。

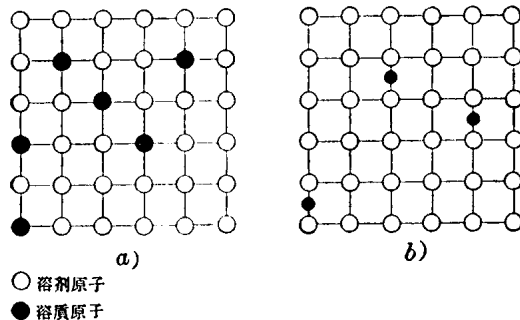


图 8 間隙固溶体与置换固溶体

2. 化合物 合金組元相互化合形成化合物。化合物中各組元的原子数成一整数比, 它的晶格与各組元完全不同, 而是一特殊的晶格。因此化合物亦为单相。化合物一般具有高电阻及高硬度。例如铁与碳的化合物 Fe_3C , 称为渗碳体, 其硬度很高。由于化合时各組元有一定的比例, 故稳定化合物可看成是一組元。

3. 机械混合物 組成合金的各組元在固态下不能化合, 又不

能互相溶解，而是以混合的方式独立地存在着。各組元保持着它們原来的結晶构造和性能，并且在显微镜下可以区别出各組元的晶粒。

混合物可以是純金屬、固溶体或化合物各自的混合物，也可以是它們之間的混合物。例如上面所述铁素体与渗碳体在某种条件下能形成机械混合物，称为珠光体。

由前述可知，用冷却曲綫就能够說明純金屬的結晶过程及其构造，然而对于合金來說，随着成分的不同所得到的冷却曲綫可能是截然不同的。因此为了綜合地了解某一合金系內各个成分不同的合金的結晶过程及其組織，則須应用状态图来解决。

(二) 状态图的构成

状态图用来表示合金在不同成分、不同温度下組織的变化。

状态图是用实验方法作出的。作状态图时，可以通过热分析的实验繪制出一系列不同成分合金的冷却曲綫，并根据冷却曲綫上結晶转变的热效应所产生的停頓点或轉折点确定出它們的温度(临界点)。然后把这些临界点的温度移到温度-濃度(成分)坐标图上，最后把相应的点連接起来便构成了状态图。

茲以鉛錫合金系为例來說明。

取純鉛、純錫以及若干种不同成分的鉛錫合金进行試驗，繪出各种合金的冷却曲綫，如图 9 所示。将这些曲綫上所得到的各

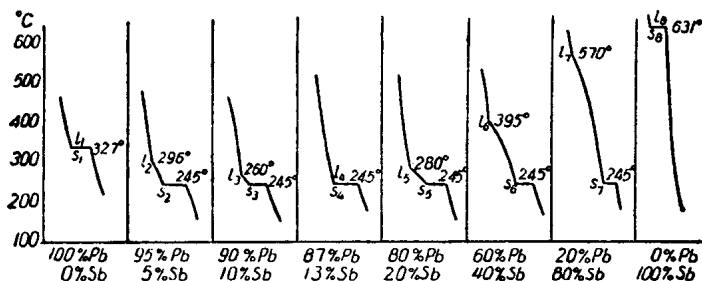


图 9 各种不同成分的鉛錫合金的冷却曲綫

种合金的临界点列成表 1。

表 1 鉛錫合金的临界点

合 金 号	合 金 成 分	L 上临界点(°C)	S 下临界点(°C)
1	Pb—100%, Sb—0%	L_1 327	S_1 327
2	Pb—95%, Sb—5%	L_2 296	S_2 245
3	Pb—90%, Sb—10%	L_3 260	S_3 245
4	Pb—87%, Sb—13%	L_4 245	S_4 245
5	Pb—80%, Sb—20%	L_5 280	S_5 245
6	Pb—60%, Sb—40%	L_6 375	S_6 245
7	Pb—20%, Sb—80%	L_7 570	S_7 245
8	Pb—0%, Sb—100%	L_8 631	S_8 631

将表中的各临界点繪在温度-濃度坐标图上,以纵坐标表示温度,横坐标表示成分的百分比(图 10),横坐标的二个端点表示 100% 的純 Pb 和 Sb,图中的数字表明从左向右 Sb 在合金中的含量逐渐增加,Pb 在合金中的含量逐渐减少。这样每种成分的合金在横坐标上都有相应的一点,而每一点都代表由二組元(Pb-Sb)組成的合金的一种成分。最后将上临界点和下临界点分別連接起来便构成如图 10 所示的状态图。

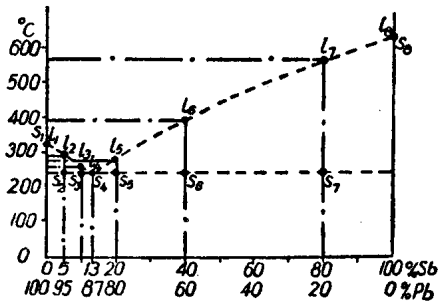


图 10 鉛錫合金状态图

由于合金有二元、三元、四元的,因而状态图也有二元合金状态图、三元合金状态图等。本书只研究最基本的二元合金状态图。

(三)二元合金状态图的基本类型

二元合金状态图根据二組元相互作用的不同可分为許多类型,常用的有以下几类: