

机械工人活叶学习材料 336

黄堯仁編著

吳師傅談鉄碳平衡圖



机 械 工 业 出 版 社

目 次

第一节	金屬和金屬的熔点以及鉛銻平衡圖.....	(2)
第二节	形成固溶体的合金平衡圖.....	(10)
第三节	錫酒壺的毛病.....	(17)
第四节	鉄碳平衡圖.....	(23)
第五节	两封信.....	(30)

第一节 金屬和金屬的熔点以及鉛錫平衡圖

提起吳師傅，經驗真豐富，听他一席話，胜讀十本書。

話說吳師傅从十几岁进厂当学徒，到現在有了将近四十年的工龄，論經驗、講手藝，厂里边还找不出第二个。解放以后，他懂得工人当家做了主人得提高文化，加上他小时候念过两年私塾，文化提高的很快。有了文化，他真开心，一有空就买几本跟自己这行有关的書看。几年来吳師傅买的書摆起了比他八岁的小孙子还高。他有經驗，又学了这么多道理，把这几十年来只会干活不懂道理的苦悶，可算是給挖根了。他常跟人說：“書本就跟鑰匙一样，可以打开你心里这把鎖。”他早就有了一个願望：要把青年一代培养成为文武双全的人。

这一天厂里的鍛工反射爐砌好了。鍛工小黃想：人都說吳師傅有本事，这回我要考考他。小黃把吳師傅請了来，指着反射爐問道：“吳師傅，您看反射爐修好了，現在高溫計又坏了，您有沒有办法不用高溫計，測出爐子的溫度到不到一千度啊？”吳師傅眉头一縐計上心来，告訴小黃說：“你淨試到不到一千度还不行，还得知道，爐膛里头各个地方的溫度是不是均匀。你可以找根旧電綫，用里边的銅絲挂在爐子里，看哪个地方銅絲先化，哪个地方就够一千度了。这是因为每种金屬都有它一定的熔化溫度，这个溫度就是这种金屬的熔点……”。小黃還沒等吳師傅講完，就蹙不住了，接口就說：“您說的这个办法，我試过，不灵！”“机械工人”上就介紹过用銅絲来測量高速鋼的淬火溫度。那天可巧我手边有根鑄銅棍，拿来就試試，活見鬼！溫度計明明指着 950°C ，可是，銅棍

早就熔化了。“吳師傅忍不住的笑了，他首先批評了小黃學習先進經驗一知半解，沒弄懂就瞎干，然後說：“我說用舊電綫的銅絲，因為它比較純，和純銅很相近。純銅的熔點是 1083°C ，可是你用的是鑄銅棍，那是銅合金，熔化溫度不一樣。”接着吳師傅向小黃提出了兩個問題：“你知道為什麼每種金屬都有一定的熔點？為什麼從純金屬做成合金以後熔點就會改變呢？”這個問題可把小黃問得張口結舌。吳師傅看到小黃一語不發，臉頰發紅，拍着小黃的肩膀說：“怎麼樣？想學嗎？明天我給你帶本書看看。”小黃看一看吳師傅，點了點頭，心里非常感謝他的幫助。

吳師傅走了一會又回來，把小黃叫到坩堝爐的旁邊，小黃一看正要準備化鉛。吳師傅說：“我借這個機會給你作個試驗吧。”於是他就把一個高溫計插在放着鉛塊的坩堝里，高溫計上的指針立刻指向 250°C ，然後 $260, 270, 280$ 不停地上升，上升到 327°C 的時候指針忽然停住了，靠着坩堝邊上的鉛開始熔化，成亮晶晶的鉛液。直到全坩的鉛塊熔化完了，高溫計的指針才又繼續上升。這時吳師傅從坩堝里用勺子盛了一勺鉛液，又用高溫計來測量它的冷卻凝固的情況。小黃看着高溫計，發現它降到 327°C 的時候又不動了，原來這時候鉛液已經開始凝固，直到全部凝固了，高溫計才又開始下降。

小黃忽然笑了。吳師傅問他笑什麼？小黃說：“我懂了！鉛的‘熔點’是 327 度。”吳師傅接着問：“那麼為什麼到了 327 度，溫度計的指針會不動呢？”小黃又楞住了，請求吳師傅講給他聽。

吳師傅就和小黃蹲在地下講起來了：“一般金屬都是結晶¹¹結晶體都有固定的‘熔點’。什麼叫結晶體呢？咱們知¹²質都可以分成很細很細，細到不能再細的微粒，分子的性質還是和物質本身的性質一樣。分子是

成的，原子的性質就和分子不一樣了。举个例子來說吧！水的分子的性質還是和水一樣，但是水的分子是由兩個氫原子和一個氧原子組成的，很明顯氫原子和氧原子就與水的性質不同了。”

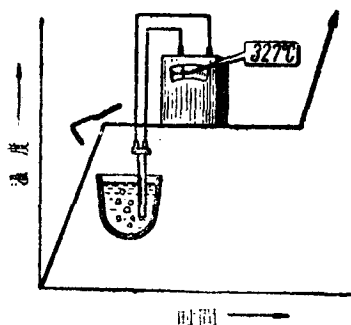


圖 1

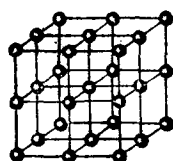


圖 2

這時吳師傅從口袋里掏出一本書，找出一個圖來給小黃看。吳師傅指着圖上的小球說：“這些小球就表示原子，它們排列得很有序。在一個面上，原子的上下左右都有一定的距離，每個面跟每個面之間也有一定的方向和距離。這些原子的排列都有一定的規則，好像一格一格的整齊排列着，我們給它起個名字叫做結晶格子。這類物體叫做結晶體，象金屬和鹽等等就是屬於這一類。這一類物體加熱到一定的溫度吸收了足夠的熱量以後，排列整齊的結晶格子就給破壞了，物體就會改變原來的形態。象鉛加熱到 327°C 就由固體變成了液體，就是這個原因。還有一類物體，原子的排列沒有次序，很凌亂，我們管它叫做非結晶體，象玻璃，瀝青等都是。非結晶體沒有固定的熔點，加熱到一定的溫度以後就慢慢變軟了，溫度越高越軟，逐漸變成糊狀，最後才變成液體；所以誰都無法確定它們是在什麼溫度下才開始熔化的。”

小黃忙着插咀問道：“熔鉛的時候，高溫計指針到了 327° 度就

不动了，这又是怎么回事？”

吳師傅緊跟着說：“溫度雖然達到了鉛的熔化溫度，但是要破壞結晶格子還需要吸收一部分熱量，因此溫度就不會升高，直到鉛全部熔化，溫度才繼續升高。在冷卻的時候，溫度降低到327度，鉛液中的原子開始組成有規律的結晶格子，這時需要放出一部分熱量，這部分熱量抵消了坩堝冷卻散失的熱量，使坩堝內的溫度保持不動，直到全部凝固以後，溫度才繼續下降，所以溫度計的指針在327°C停止不動”。

“金屬在加熱或是冷卻的時候，由於內部發生變化，而使溫度停止上升或下降，這時候的溫度人們給他起了個名字叫做轉變點或者叫臨界點。”

吳師傅還要講下去，下班鈴響了，小黃約定晚上到吳師傅家里去繼續再講。

七點鐘還不到小黃就到了吳師傅家里，請吳師傅給他講講由純金屬變成合金，熔點為什麼會改變。

吳師傅翻開一本書給他看，上面寫道：“兩種不同的金屬，經過加熱熔化，混合均勻後再冷卻凝固，這就是合金。根據凝固以後的情況，可以把合金分成三類：

一、機械混合物——機械地混合在一起，就象混凝土一樣，雖然都凝固在一起，但是水泥、砂子和石子，仍然可以很清楚的分辨出來。

二、固溶體——冷卻後兩種金屬能夠均勻地互相溶合在一起，就象水和酒精放在一起一樣。

三、化合物——兩種金屬按照一定的比例化合成一種新的化合物。”

看完這一段，吳師傅說：“我們還回到鑄銅棍上來吧。銅鑄件

普通分两大类：一类是銅和鋅的合金叫做黃銅；一类是銅和錫的合金叫做青銅。銅里面含了鋅或者錫，熔点自然要下降。再如焊各种銅器用的焊錫，也叫軟鐵，就是用一分的鉛和兩分錫的合金”。这时吳師傅問小黃：“鉛的熔点是多少？”小黃笑了笑說：做成“327度。”

吳師傅接着說：“对！鉛的熔点是 327°C ，錫的熔点是 231°C ，可是用 37% 的鉛和 63% 錫做成的焊錫只要 190°C 就熔化了。

小黃听到这里，思索了一下問道：“合金的熔点和它所含的成分有沒有关系呢？熔点的变化有沒有一定的規律呢？”

吳師傅很高兴地說：“你这两个問題提的好！現在就用鉛和錫这两种金屬的合金作例子来回答你提出的問題。鉛錫合金是屬於第一类，也就是机械混合物。鉛錫合金可以根据含鉛量的不同从 0.1~99.9% 配成許許多多成分不同的合金，現在就

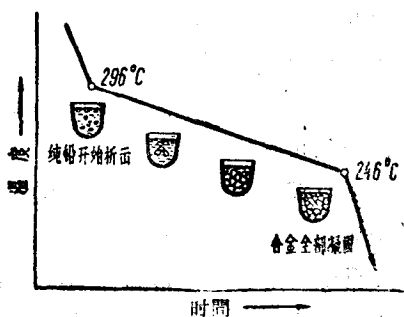


圖 3

拿含鉛量在 95%、90%、87%、80%、60% 和 20% 的六种鉛錫合金做例子來說明。”

“把 95% 鉛和 5% 錫熔融后在坩堝內緩慢地冷却到 296°C ，溫度停頓了一些時間，熔液已經开始結晶凝固，沒有全部凝固完畢，溫度又开始下降，熔液象漿糊一样越来越濃，一直到 246°C 溫度又停頓了一些時間。在这个时候合金全部凝固完畢，溫度才又繼續下降。和純鉛冷凝的情况相比較就可以看出来：純金屬凝固时候的临界点只有一点，而含鉛 95% 的鉛錫合金凝固时的临

界点却有两点：一点表示凝固的开始，另一点表示全部凝固完畢。这也就是說，純金屬的凝固是在一个固定的溫度上完成，而这一类合金的凝固是在一个溫度範圍內完成的。”

这时吳师傅把書又翻了一下，找出一个表来，正是这六組合金临界点变化的情况表：

含鉛量	开始凝固溫度	凝固完畢溫度
95%	296°C	246°C
90%	260°C	246°C
87%	246°C	246°C
80%	280°C	246°C
60%	395°C	246°C
20%	570°C	246°C

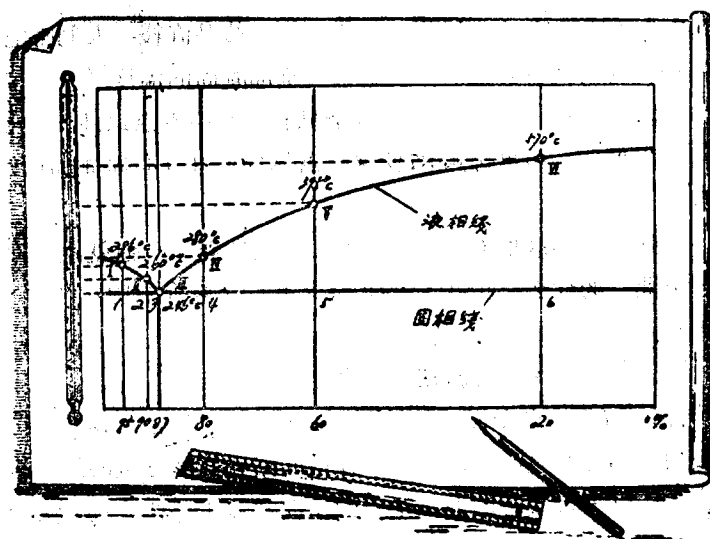


圖 4

吳师傅叫小黃先看这个表自己又从抽屜里拿出一張紙，一枝米达尺和鉛笔。

吳师傅在紙上先划了一根直綫，又划了一根橫綫，在橫綫上用尺子划出六个点。他对小黃說：“直綫表示溫度，越往上表示溫度越高，橫綫表示合金的成分，离着左边的一端越近合金的含鉛

量越高。橫綫上的六個小點，是我按照六組合金含鉛量的多少按照比例划出來的。”小黃問：“這是不是座標圖？”

吳師傅說：“對啦！現在咱們假想拿一支溫度計放在這張紙的橫綫的六個點位置上，根據每組合金的開始凝固溫度，在紙上記下來，符號是 I、II、III、IV、V、VI，再把凝固完畢溫度記下來，符號是 1、2、3、4、5、6。然後把 I、II、III、IV、V、VI 幾個點聯成一條曲綫，這個綫人們叫它做液相綫。在這條綫以上的溫度表示合金是在液體狀態，從這條綫向下的溫度表示合金開始凝固了。再把 1、2、3、4、5、6 幾個點聯出一條綫，這條綫是直綫，人們叫它做固相綫。這條綫所表示的溫度是合金全部凝固的溫度。”

“除了含鉛量 87% 這一組合金只有一個臨界點以外，其他都有兩個臨界點；距離含鉛 87% 這一點越遠，開始凝固的溫度也就越高了。”

吳師傅講到這裡看出來小黃又要提出問題了，他就說：“你是不是要問，為什麼含鉛 87% 的合金只有一個臨介點呢？”

小黃說：“您真猜對了！”

接着吳師傅又給他講這個道理：

含鉛 87% 的合金慢慢地冷凝到 246°C 的時候鉛和錫就全部凝結成均勻混合的組織。這種高度分散的鉛和高度分散的錫的機械混合物，好象書上說的混凝土中的水泥和沙子一樣。這一類只有一個最低的凝固點的合金，我們叫做共晶合金；這種組織叫做共晶組織。

含鉛 95% 的合金比含鉛 87% 的共晶合金多含了一些鉛。這些多餘的鉛冷凝到 296°C 的時候就開始凝固出來；溫度慢慢下降凝固出來的鉛也就慢慢的增多，熔液里鉛的濃度也逐漸的降低，使合金成分慢慢地接近於鉛 87%。到了 246°C ，熔液中剩下的鉛的含

量剛好只有 87%，和共晶合金的成分一樣，因此在 246°C 同時就全部凝固。在這種合金里面除了鉛和錫均勻混合的共晶組織之外，還有很多先凝固出來的鉛：含鉛量比 87% 越高，多餘的鉛就越多。這一類合金叫做亞共晶合金，這種組織叫做亞共晶組織。

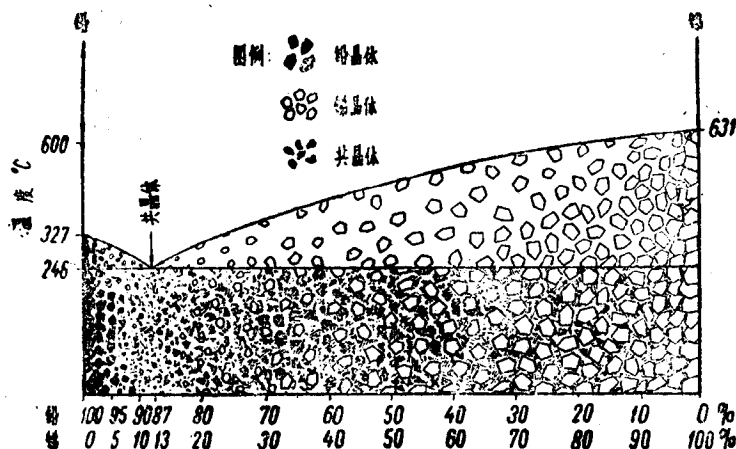


圖 5

“在含鉛量低於 87%——象含鉛 20%、錫 80% 的合金中，因為錫的成分比共晶合金中的高，所以當合金熔液冷卻到 570°C 的時候，多餘的錫就凝固出來，溫度逐漸下降，凝固出來的錫逐漸增加，熔液中剩餘的錫的含量就逐漸下降。到達 246°C 的時候，熔液中剩餘合金的成分剛好等於共晶成分——含錫 13%，因此剩餘的熔液在 246°C 全部凝固完畢。這一類合金中除了鉛和錫均勻混合的共晶組織外，還夾着許多先凝固出來的多餘的錫：含鉛量越比 87% 低多餘的錫就越多，這一類合金我們叫做過共晶合金”。

吳師傅着重地說：“根據不同成分的合金的臨界點，繪出來的這個圖，就是合金的平衡圖。從這個圖上咱們可以看出，各種成分

的鉛錫合金到了甚么溫度是液体，又到了甚么溫度是固体；也可以知道合金成分变化跟熔点升降之間的关系。”

講到这里桌上时鐘敲了九下，小黃說：“天不早您該休息啦！今天您真教会了我不少學問！”吳師傅說：“不忙，我每天倒是九點鐘睡覺，今天星期六，晚一點沒关系。我最喜欢跟你們青年人一塊扯。这样吧，現在你把咱們今天講的給簡單地說一下，看你學的怎么样。”

小黃把吳師傅給他講的东西又复述了一遍，吳師傅很滿意，又鼓励了他一番，最后說：“你有什么問題，想學甚么，只管來找我，只要我懂得，保管教会你。你要真肯學，我就收你这么个徒弟！”

小黃怀着感激的心情离开吳師傅的家。吳師傅站在家門口，目送着小黃，心里乐融融的，臉上浮現出滿意的微笑。

第二节 形成固溶体的合金平衡圖

轉眼又是星期六了。小黃也不等吃完晚飯，就往吳師傅家里跑。

上星期六晚上，吳師傅給小黃上了一堂精彩的技术課。第二天，小黃就在家从开头到尾回忆了吳師傅所講的一切，并且写了筆記。今天当小黃想到晚上又要上一堂新的、內容丰富的課的時候，他就禁不住咧开咀笑了。

吳師傅剛吃完飯，看到小黃兴冲冲地跑进来，猜到他是來上課的，就堆下笑臉問小黃：

“怎么样？上次学的都記得嗎？”

“記得記得。”不等吳師傅說完，小黃就把上次学到的簡單扼要

地复述一遍，向老师傅彙報了自己的心得。接着小黃請求說：“吳師傅，我們鍛工打的多是鋼活，您給我講講鋼鐵吧！”

“小伙子，別心急！”吳師傅說：“鋼鐵在加熱或者冷卻時候的變化可複雜啦！要知道鋼鐵結構有什麼變化，得學會看懂‘鐵碳合金平衡圖’；但是要看懂這種平衡圖，就得先看懂幾種簡單的平衡圖。上次給你講了‘鉛錫合金平衡圖’，那是第一類平衡圖。今天我要給你講一講第二類平衡圖。”

說到這兒，吳師傅才發現小黃還站着呢，趕緊招呼他坐下，又從抽屜里拿出一本書，找出一幅圖來。

這也是一幅座標圖（圖6）。圖上有兩根曲線，畫出一個中間大兩頭尖的梭子的形狀。圖的左边和底下還標着許多數字。

“小黃，”吳師傅指着圖又說話了，“這就是‘銅鎳合金平衡圖’，是第二類平衡圖。上次講過，合金分成三類。第一類是機械混合

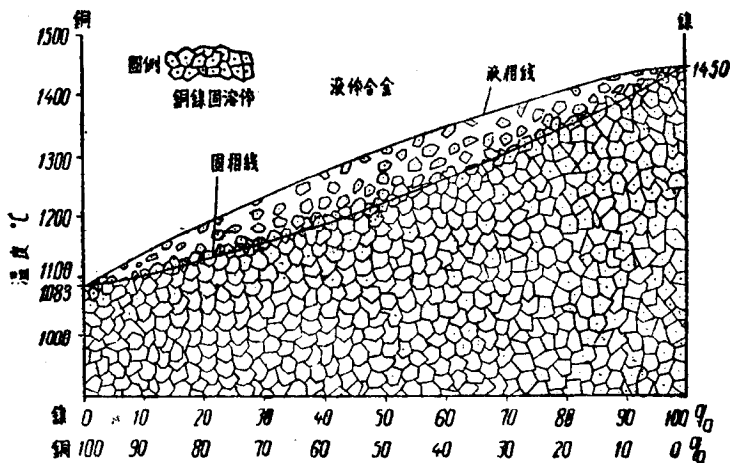


圖 6

物，鉛鎢合金就是形成機械混合物的合金。第二類是固溶體，現在要講的銅鎳合金就屬於這一類。你說，什麼叫固溶體？”

“兩種金屬冷卻後互相溶合在一起，所形成的就是固溶體。”

“嗯！更精確說，固溶體是一種元素在固體狀態下溶解在另一種元素中所形成的結構，不限於兩種都是金屬。下一次就會講到，碳元素會溶解在鐵元素里形成一種固溶體，叫做奧氏體。銅鎳合金液在凝固的時候，其中的銅和鎳都逐漸地溶解成固溶體。上次說過，鉛鎢合金除了共晶成分的以外，余下都有兩個臨界點。銅鎳合金也跟鉛鎢合金大同小異，它們全部都有兩個臨界點。平衡圖上的兩根曲線，上面一根就是液相線，下面一根就是固相線。”

講到這兒，吳師傅不講了。他讓小黃說說銅鎳各半的合金是怎樣凝固的。他估計小黃一定說得出來。

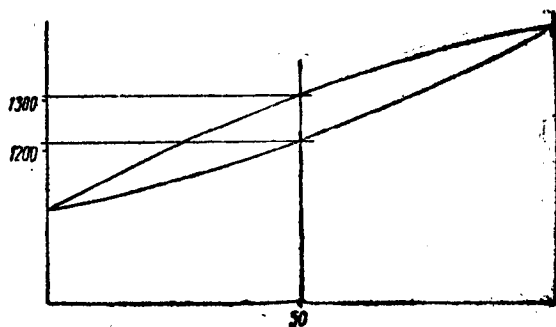


圖 7

小黃向吳師傅要了一枝鉛筆、一把直尺。他先畫出一根豎線，通過成分座標上的表示含鎳百分之五十的一點，並且跟溫度座標平行；又畫出兩根橫線，分別通過那根豎線跟液相線和固相線的

交点，并且都跟成分座标平行。这两根横线跟温度座标相交于一千二百多度和一千三百多度的地方（圖 7）。小黄画好线，就开口說了：

“这种合金液，在冷却到液相线所表示的温度——一千三百多度——的时候开始结晶，一部分合金液凝固了，形成了固溶体。合金液繼續冷却下去，所形成的固溶体越来越多，剩下的合金液越来越少；也就是說，合金越来越稠了。冷却到固相线所表示的温度——一千二百多度——的时候，合金液全变成固体了。”

对小黄的答复，吳师傅很满意。看看时间还早，就想把第三类索兴也講了。吳师傅把这个想法对小黄說了；小黄听到还要講些，正中心怀，非常高兴。于是吳师傅又从書上找出一幅圖来。

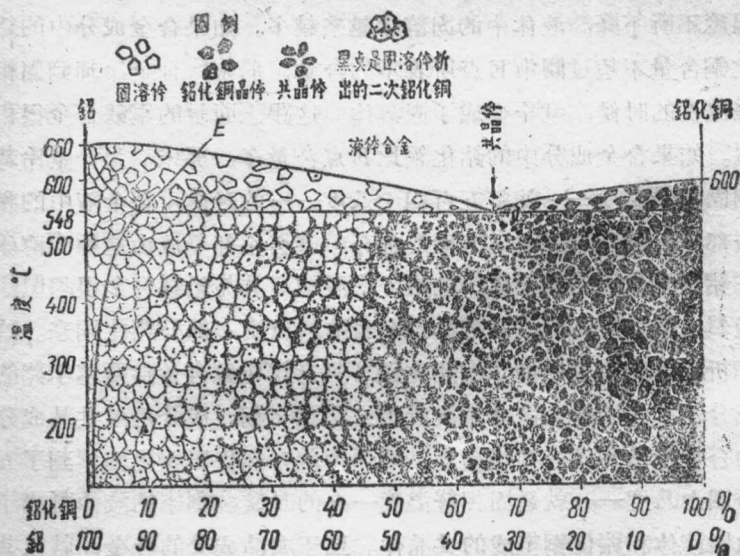


圖 8

这又是一幅座标圖（圖8），象是前面所說的两类平衡圖的綜合。这是鋁-鋁化銅的平衡圖，是第三类平衡圖。

“銅鎳合金是不管成分比例怎样都形成固溶体的。”吳師傅又开腔了：“可是有些合金只是在一定比例下才能形成固溶体。鋁和鋁化銅的合金就是这样，在一定的成分比例下，鋁化銅会溶解到鋁的晶体中去，形成了固溶体。这类合金还有一个特点，就是：甲元素所溶解的乙元素的量是跟溫度有关系的，溫度越低，所能溶解的乙元素越少，多余的乙元素就会析出来。”

說到这儿，吳師傅稍微停了一下，問小黃能不能理解。看到小黃点点头，吳師傅又接着說了：“我們还是用鋁和鋁化銅的合金做例子吧。这种合金，当它的成分是亞共晶成分的时候，冷却到液相綫的溫度，液体中开始析出鋁化銅溶解在鋁中的固溶体。溫度不断下降，液体中的固溶体越来越多。如果合金成分中的鋁化銅含量不超过圖中E点所表示的含量，那末，合金冷却到固相綫溫度的时候，就全变成了固溶体。这跟上面說的銅鎳合金很相似。如果合金成分中的鋁化銅比E点含量多，那末，当合金冷却到固相綫溫度——就是五百四十八度——的时候，合金液中的剩余部分，就是沒凝成固溶体的部分，就会全部凝成由这种固溶体和鋁化銅組成的共晶体。这跟上次說的亞共晶鉛鎢合金很相似。当然，溫度再降低，固溶体中又会陸續析出一部分鋁化銅来。这样析出的鋁化銅叫做二次鋁化銅。只有鋁化銅含量在可溶于鋁的成分範圍內的合金，才不会析出二次鋁化銅。成分是过共晶成分的合金，冷却到液相綫溫度，液体中就开始析出鋁化銅；到了五百四十八度——就是固相綫溫度——的时候，剩下的液体凝成了由固溶体和鋁化銅組成的共晶体。至于共晶成分的合金，就象共晶成分的鉛鎢合金一样，只有一个临界点——五百四十八度；液

体合金冷却到这个溫度，全部凝成了共晶体。”

吳師傅喝了一口水，从筆記本里拿出一張紙（圖9）交給小黃，說：

“小黃，這張紙上画有‘鋁-鋁化銅合金平衡圖’，并且举出五种不同成分的合金，写出它的冷凝情况。这是我昨晚上給你画的，免得你忘了。你拿回去好好地复習一下吧，下个星期六晚上再来，我給你講‘鉄碳合金平衡圖’。”

小黃看了看那張紙，把它疊好，放在上衣口袋里，心想吳師傅多好啊！不仅給我講課，还想到怎样方便我复習。

但是小黃心里还有个疙瘩沒解开，就又提出問題来了：

“吳師傅，什么样的元素能形成固溶体？什么样的能形成机械混合物？”

“這個問題可不是三言两語就能說清啊！”虽然这样，吳師傅还是簡單地作了答复：“俄国有个科学家叫門捷列夫，他排了一种‘元素周期表’。从这个表上可以看出哪些元素組成一“族”，哪些元素組成一个“周期”。一般地說，同一个‘周期’和同一个‘族’的在表上位置相距很近的元素，例如銅和鎳、鉄和鉻、鉬和鎢，都可以形成固溶体。相反地，位置相距較远的元素，也就是原子尺寸、电子构造、結晶格子的类型和尺寸都差得很远的元素，例如鋁和鎂、鋅和錫都会形成机械混合物。这样說可能你不懂，但是这是不容易說懂的。以后有机会，我可以慢慢地給你講原子构造等，帮你进一步學習。”小黃听了点点头，也觉得自己太性急了些。

这时桌子上的座鐘敲了九下。时候不早了，小黃只好告辞，以輕快的脚步向宿舍走去。数不清的星星一閃一閃地，已經布滿了蔚藍的夜空，象在对小黃說：“小黃，你多幸福啊，有了这么个好師傅！你要好好地學習才对啊！”

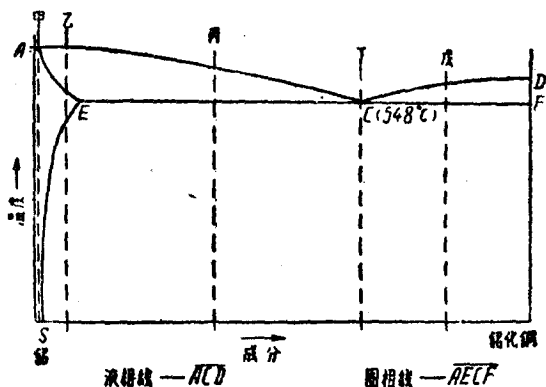


圖 9

液相綫——ACD；固相綫——AECF。甲种成分：冷却到液相綫溫度——开始析出固溶体；冷却到固相綫溫度——全部凝成固溶体；最后結構——固溶体。

乙种成分：冷却到液相綫溫度——开始析出固溶体；冷却到固相綫溫度——全部凝成固溶体；繼續冷却——析出二次鋁化銅；最后結構——固溶体 + 二次鋁化銅。

丙种成分：冷却到液相綫溫度——开始析出固溶体；冷却到 548°C ——形成共晶体；繼續冷却——析出二次鋁化銅；最后結構——固溶体 + 共晶体 + 二次鋁化銅。

丁种成分：冷却到 548°C ——形成共晶体；最后結構——共晶体。

戊种成分：冷却到液相綫溫度——开始析出鋁化銅；冷却到 548°C ——形成共晶体；最后結構——共晶体 + 鋁化銅。

注意：①这里的固溶体是由鋁化銅溶解到鋁中而形成的；

②这里的共晶体是固溶体 + 鋁化銅，共晶体中的鋁化