

# B65 合金的性質与組織

## 鎖 銑

### 前 言

伴随着近代航空工业的迅速发展，相应地在金属材料性能上提出了更高的要求，近十年来航空科学工作者和金属学者们正致力于这项研究工作。寻求新型的合金，以适应高速飞行的要求。

在航空工业上用来制造铆钉的金属牌号范围是比较广的，常用的铝合金材料有Д1、Д16、Д3П、Д18П、АМц、АМг等几种，它们在铆接工艺性能和机械性能上虽具有一定的优点，但还有不足之处，如：Д1、Д16的剪切强度较高而孕育期却很短（Д1的 $\tau = 24$ 公斤/公厘<sup>2</sup>，孕育期2小时；Д16的 $\tau = 26$ 公斤/公厘<sup>2</sup>，孕育期20分钟）给铆接工艺上带来不少困难。Д18П虽经淬火后随时都可用来铆接，但在机械性能上已满足不了高强度接合的要求。由于苏联科学技术工作者们的努力，已研究成功一种具有优越工艺性能适合于高强度接合用的B65合金。近年来已制造使用。

我国将B65铝合金用来做铆钉材料尚属初次，有关这种合金使用方面的经验非常缺乏，在热处理、技术性能方面的资料亦仅凭文献上点滴介绍，本试验目的想通过较系统的试验，探索一些热处理及技术性能方面的数据作为本厂今后在生产、试验工作上参考。

### 一、試驗

#### 1. 縮短时效時間試驗

根据资料上记载，B65合金时效时间按度不同有三种处理方法：

- i 常温时效10晝夜
- ii 50°C时效5晝夜
- iii 75°C时效1晝夜

上述三种时效时间都比较长，拖长了试验周期，尤其是试验室在处理急件上更为不宜，本试验想在这方面获得一些改进的线索。

时效温度	常 温	50°C	50°C	50°C	70°C	70°C
时效时间	240小时	120小时	6小时	3小时	24小时	12小时
时效温度	70°C	70°C	70°C	100°C	100°C	100°C
时效时间	6小时	3小时	1小时	6小时	3小时	1小时
时效温度	120°C	120°C	120°C	140°C	140°C	140°C
时效时间	6小时	3小时	1小时	6小时	3小时	1小时
时效温度	160°C	160°C	160°C	180°C	180°C	180°C
时效时间	6小时	3小时	1小时	6小时	3小时	1小时
时效温度	200°C	200°C	200°C			
时效时间	6小时	3小时	1小时			

#### 2. 抗腐蝕性試驗

硬铝合金含铜量多，经人工时效后晶界腐蚀敏感性大，本试验采用3% NaCl + 1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液测定B65合金抗腐蚀稳定性。

腐蝕時間	时 效 温 度					
1 晝 夜	50°C	70°C	100°C	120°C	140°C	160°C
1 晝 夜	180°C	200°C				
10 晝 夜	50°C	70°C	100°C	120°C	140°C	160°C
10 晝 夜	180°C	200°C				

淬火温度515<sup>±5</sup>°C

保温35分钟

时效时间各组都取3小时

#### 3. 孕育期测定

515<sup>±5</sup>°C淬火，保温35分钟

#### 4. 测定淬火温度区

根据资料上规定B65合金淬火温度510°C ~ 520°C，范围较窄，本试验分别在600°C、580°C、560°C、535°C、515°C、500°C、460°C

进行淬火，借此来鉴别固溶不完全，固溶完全，过热、过烧组织的淬火温度区域。

## 二、試驗結果

各項試驗結果均以圖表形式列出，为閱者明了起見，个别地方作簡略說明：

### 1. 化学成份，机械性能：

表 1

主 要 元 素					杂 質
Cu	Mn	Mg	Al	Fe	Si
4.34	0.38	0.29	余 量	0.12	0.16

表 2

$\sigma_b$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )
26.8	3.8~4.3	14.3~14.7

注：表 2 为退火状态的机械性能值。

### 2. 时效温度，时间与剪切强度的关系：

表 3

时 效 温 度 与 时 間						
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	常 温		50°C			
	240小时	120小时	6小时	3小时	1小时	
	25.3	26.2	25.4	25.7	25.1	
时 效 温 度 与 时 間						
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	70°C					
	24小时	12小时	6小时	3小时	1小时	
	25.6	25.5	26.3	25.9	25.3	
时 效 温 度 与 时 間						
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	140°C			120°C		
	6小时	3小时	1小时	6小时	3小时	1小时
	25.8	26.1	25.1	27.2	26.7	25.5
时 效 温 度 与 时 間						
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	140°C			160°C		
	6小时	3小时	1小时	6小时	3小时	1小时
	26.1	26	25.3	26.6	26	25.5

时 效 温 度 与 时 間

$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	185°C			200°C		
	6小时	3小时	1小时	6小时	3小时	1小时
	22.3	22.5	24	17.3	18.7	21.5

表 3 各組材料淬火温度为 $515 \pm 5^\circ\text{C}$ ，保温 35 分鐘，根据鋁釘用鋁合金技术条件 AMTV332-53 規定 B65 的剪切强度为 25 公斤/公厘<sup>2</sup>，从表 3 所得結果看来适当地提高时效温度，相应来縮短时效時間，剪切强度仍可符合技术条件要求，在 $180^\circ\text{C}$ 以上进行时效处理，因强化相开始从基体内析出，使  $\tau$  值較显著地下降。

### 3. 时效温度对抗腐性能的影响：

表 4

时效温度、腐蝕時間								
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	24小时							
	50°C	70°C	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
	26.2	24.6	24.1	24.4	25.2	23.4	23.2	
时效温度、腐蝕時間								
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	240小时							
	50°C	70°C	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
	25.7	24	23.5	23.7	24.2	23.2	23.3	20.3

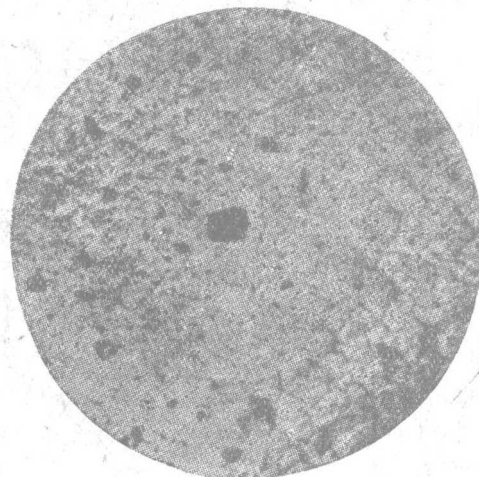


圖 1

$515 \pm 5^\circ\text{C}$  淬火 保温 35 分鐘  
 $120^\circ\text{C}$  时效 3 小时 腐蝕：24 小时  
 腐蝕深度：0.08~0.13 公厘  $\tau = 24.2 \sim 24.6$

表 4 各組材料淬火溫度均為 $515\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，保溫 35 分鐘，時效 3 小時。

由表 4 看出，在 $50^{\circ}\text{C}$ 時效對材料的抗腐性能無甚影響，隨著時效溫度的升高逐漸顯示出晶界腐蝕的敏感性。經 $200^{\circ}\text{C}$ 時效後的材料抗腐性能較顯著地減弱，這與強化相從基體內析出有關。同一時效溫度，腐蝕時間不同，抗腐蝕性能亦有差異，如圖 1、2 所示，經 $120^{\circ}\text{C}$ 人工時效保溫 3 小時，腐蝕 24 小時後，晶界腐蝕深度為 $0.08\sim 0.13$ 公厘，腐蝕 360 小時後，深度為： $0.11\sim 0.15$ 公厘。

潛復期內，可塑性較高，隨著自然時效時間的增加， $\tau$  值相應地升高，120 小時以後又趨向穩定。

#### 5. 淬火溫度對機械性能的影響：

表 6

淬火溫度	$460^{\circ}\text{C}$	$500^{\circ}\text{C}$	$515^{\circ}\text{C}$	$535^{\circ}\text{C}$	$560^{\circ}\text{C}$
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	19.5	23.8	25.5	26.6	26.6
淬火溫度	$580^{\circ}\text{C}$	$600^{\circ}\text{C}$			
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	23.0	18.3			

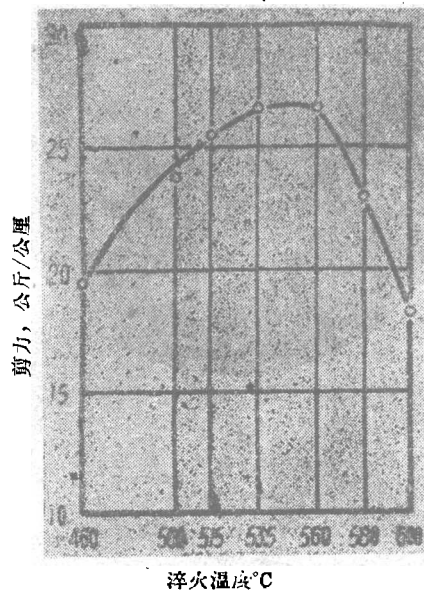


圖 2

$515\pm 5^{\circ}\text{C}$  淬火 保溫 35 分鐘

$120^{\circ}\text{C}$  時效 3 小時 腐蝕：360 小時

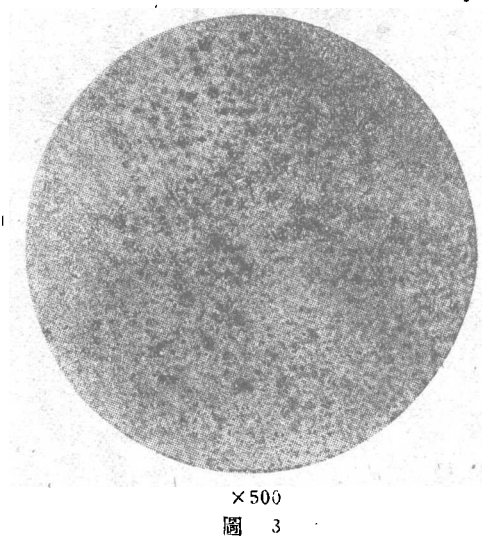
腐蝕深度： $0.11\sim 0.15$ 公厘  $\tau = 24.3\sim 24.6$

#### 4. 孕育期測定

表 5

淬火溫度	自然時效時間	$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	5 分	19.6
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	0.5 小時	19.6
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	1.0 小時	20.4
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	1.5 小時	21.2
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	2.0 小時	21.5
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	4.0 小時	23.3
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	8.0 小時	24.5
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	24.0 小時	24.7
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	120.0 小時	26.0
$515\pm 5^{\circ}\text{C}$	240.0 小時	25.3

$\tau$  值在最初 30 分鐘內保持恒定，材料處於



× 500

未經熱處理

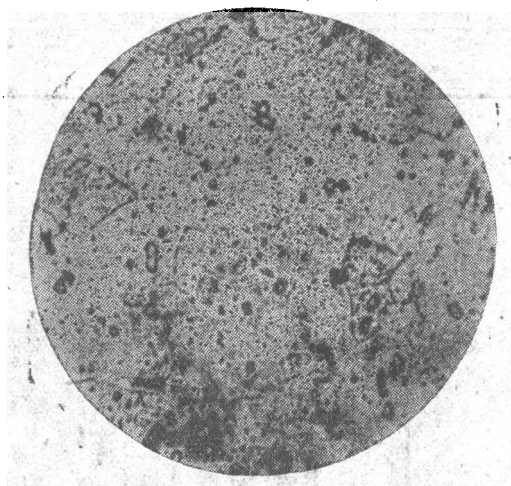
$\tau = 14.3\sim 14.7$ 公斤/公厘<sup>2</sup>

表 6 各組材料淬火后，均在75°C时效24小时。

由表 6 內得到的結果分析，在 460°C 淬火因固溶体化热处理不完全，大部分强化相沒有溶入鋁基体内，材料的强度很低 ( $\tau = 19.5$  公斤/公厘<sup>2</sup>) 随淬火温度的升高，强化相大量向鋁基体内溶解，强度也不断增高至 535°C 固溶体化热处理完全强度趋向稳定。从本試驗結果

所繪出的曲綫可看出510~560°C淬火在材料的机械性能都符合 AMTV332-53 技术条件的要求，由此可見实际上 B 65 材料的淬火温度区域是比較寬的 (資料上規定510~520°C)。自56°C开始晶粒显著長大，580°C出現过燒，强度急速下降，600°C淬火后晶界熔化已相当严重，强度显著地降低，剪切强度只有18.3公斤/公厘<sup>2</sup>。

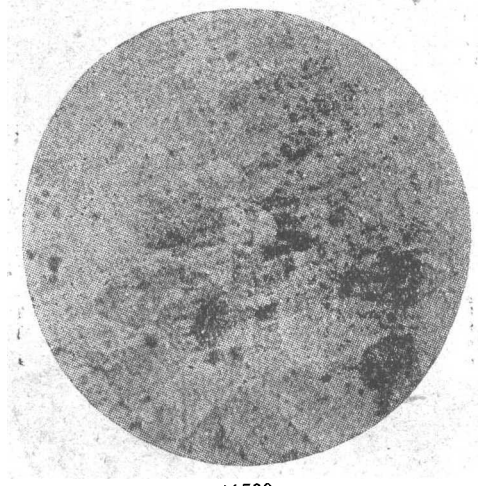
圖 2 系淬火温度与剪切强度之关系。左边



×500

圖 4

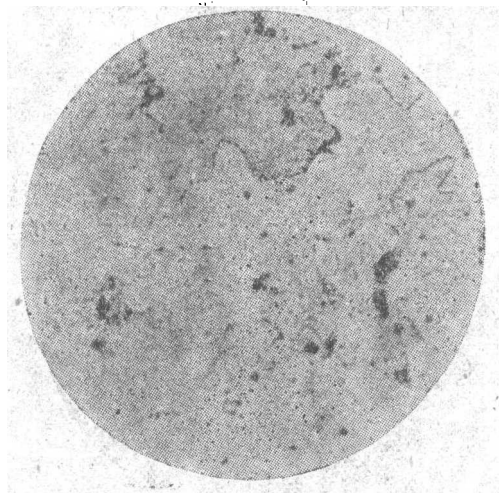
460°C 淬火保温35分  
70°C 时效保持24小时  
 $\tau = 19.5$  公斤/公厘<sup>2</sup>



×500

圖 6

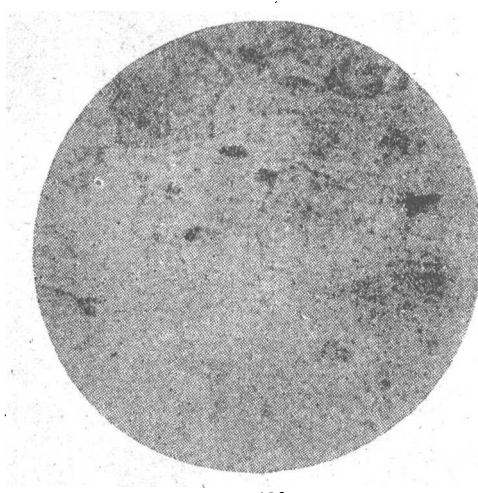
515°C 淬火保温35分  
70°C 时效保持24小时  
 $\tau = 25.5$  公斤/公厘<sup>2</sup>



×500

圖 5

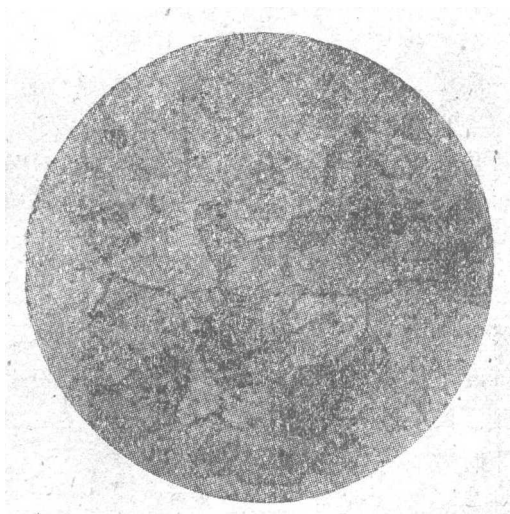
500°C 淬火保温35分  
70°C 时效保持24小时  
 $\tau = 23.9$  公斤/公厘<sup>2</sup>



×500

圖 7

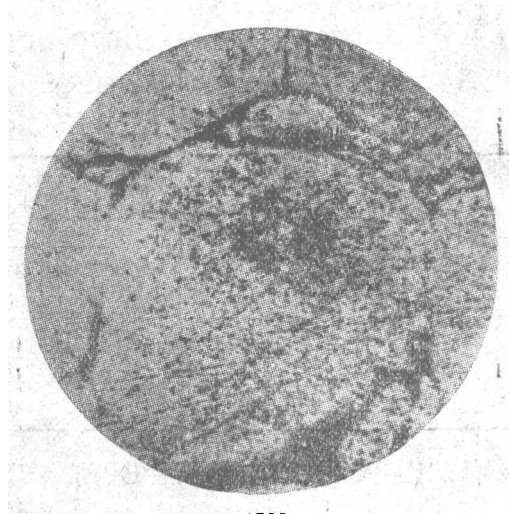
535°C 淬火保温35分  
70°C 时效保持24小时  
 $\tau = 26.5$  公斤/公厘<sup>2</sup>



×500

圖 8

560°C 淬火保溫35分  
70°C 时效保溫24小时  
 $\tau = 26.5$  公斤/公厘<sup>2</sup>



×500

圖 10

600°C 淬火保溫35分  
70°C 时效保溫24小时  
 $\tau = 18.3$  公斤/公厘<sup>2</sup>

則即使短時間超過規定的溫度範圍，也可能使材料帶來致命的影响。

### 三、討 論

在總結的第一部分已經提到，B 65合金對我國來說是陌生的。國內無有關介紹金屬性能的篇幅。在國外蘇聯雖已大量用于生產，但在文獻上對 B 65合金的介紹實在少得可憐，本試驗目的已在前言中闡明，最後這部分討論，因手頭資料根據不足，基于實驗設備限制，試驗內容又顯得平淡和我們的能力所限，故這一討論只能說是大膽的推測，其中是有不少武斷偏見之處，錯誤更是難免，尚須大家指正為感。

一、常見的硬鋁型合金材料為：Д1、Д16等，它們所含的元素都是一樣的，其主要成份除鋁外有銅、鎂、錳三個元素，Fe、Si是雜質，B 65亦相同，只是含量有出入而已（見表

表 7

牌號	主 要 元 素				雜質(不大于)	
	Cu	Mg	Mn	Al	Si	Fe
Д1	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	余量	0.7	0.7
Д16	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	余量	0.5	0.5
B 65	3.8~4.5	0.15~0.3	0.3~0.5	余量	0.25	0.2

部分曲綫坡度較小表明強化相向鋁固溶體內溶解（隨着淬火溫度升高）比較緩慢，曲綫右邊部分坡度較大，說明隨着淬火溫度的升高，晶粒長大較快，當過燒現象在某處出現的瞬間，相續也在其它晶粒邊界出現，晶界溶化程度的嚴重趨勢亦是比較迅速的，這種金屬材料的热處理特性告訴我們，淬火時必須謹慎細心，否

7)。从物理性能来看Д1、Д16、B65合金的綫膨脹系数、导电率等也是相同的（見表8）。

表 8

合金牌 号	比 重 $\gamma$	綫膨脹系数10.6			导热系 数卡/ 公分秒 °C	單位导电率 (与銅导电 率之比)%	
		温度間隔°C				淬火和 时效的	退火和 时效的
		20~100	20~200	20~300			
Д1	2.8	22	23.4	24.8	0.28	30	40
Д16	2.8	22	23.4	24.8	0.28	30	50
В65	2.8	22	23.4	24.8	0.28	30	40

故从化学成份物理性能上看它們是属于同一类型的。

在时效規律上：一般硬鋁型合金如Д1、Д16等在自然时效期內强度的变化都是相同的，在剛淬完火的一晝夜內强度剧烈上增，随后漸趨平坦，由一般硬鋁在自然时效期內强度变化曲綫上計算出，第一晝夜內强度的升高要占其整个时效期內强度增加的88%。B65合金的时效規律由表5可知，最初一晝夜內强度也增加90%左右，这一点說明了Д1、Д16、B65合金它們的时效硬化机构是相仿的，随着時間的增長强化相元素Cu、Mg等在鋁固溶体内开始移动聚集，最后在点陣某一面排列成化合物結構的形式，以超显微状态析出。由此又可推測

出B65合金与Д1、Д16合金有同样的强化相—— $\text{CuAl}_2$ ，S（仅有微量的S），从显微組織观察上也証实了这一点。

根据汉涅——普萊斯頓的硬鋁合金时效硬化理論，淬火后的合金在 $200^{\circ}\text{C}$ 保持适当時間，結晶点陣即由正方点陣变为立方点陣，此时强化相自准安定状态析出，合金的机械性能也从原来的高强度状态减弱下来，这次做的B65合金的时效温度、時間与剪切强度关系的影响亦得到了同样的結果，从表3可以看出在 $160^{\circ}\text{C}$ 以下时效，剪切强度都在 $25\sim 27$ 公斤/公厘 $^2$ ， $180^{\circ}\text{C}$ 开始降低， $200^{\circ}\text{C}$ 时已显著下降， $200^{\circ}\text{C}$ 时效6小时的剪切强度只有 $17.2$ 公斤/公厘 $^2$ ，已接近退火状态的机械性能。

有人可能提出这样的疑問，B65的Mg、Mn含量都較Д1、Д16少（見表7），为什么它的剪切强度却間于Д1、Д16中間呢？是否有其他强化相因素在起着特殊作用呢？据我們的看法并不是那样，从前面的分析，B65合金屬Al—Cu—Mg系的一种硬合金是較為妥當的，而这个疑問可以这样来回答，虽然据伏罗諾夫等人的研究的成果已肯定在硬鋁合金中增加其中某一基本元素（Cu、Mg、Mn），强度都能获得不同程度的提高，但这并不意味着不能用其他方法来提高合金的机械性能了，值得提醒的也不可忽略杂质对机械性能不利的傾向，如Fe、Si等在鋁合金內均以脆硬化合物形式存在于晶界，使晶粒間的結合能力大为削弱，影响合金的强度，而B65的Fe、Si含量要較Д16小1.5倍，比Д1少3.5倍，这就是B65合金能維持高强度的原因。

二、其次来討論一下B65合金的加工性能，不可諱言在各方面都具备了优点。

从原材料的軋制、压挤加工来看，Mg和Si元素对鋁合金的塑性有影响，含量愈高塑性愈差，一般当Mg含量大于 $0.5\sim 0.7\%$ 时，合金在高温状态下的塑性显著降低，Si也有类似的作用，而B65含Si在 $0.25\%$ 以下，含Mg仅 $0.15\sim 0.3\%$ ，較一般硬鋁合金中的含量要少

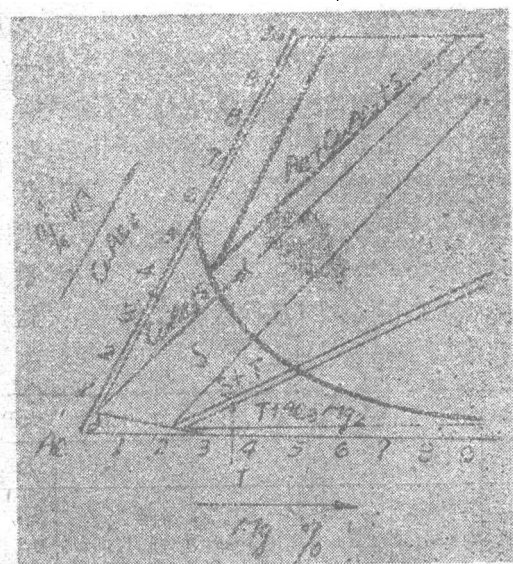


圖11 Al—Cu—Mg 三元系，状态圖



得多(見表7),这使材料在高温状态进行軋制或挤压时每道加工率和总变形量可增大,相应地减少了退火次数,这对原材料加工厂在节省动力,减少设备,提高劳动生产率,降低成本等方面都有很大的好处。又根据苏联先进經驗有色金屬材料经过剧烈的变形后再进行冷軋,热处理,能使机械性能进一步获得改善, B65合金在这一方面具备了优越的条件。

B65合金的机械性能是比较高的,它的剪切强度在鋁制铆釘中仅次于Д16(見表10),特别从 $\sigma_b$ 比重(比强度)关系看,更显示了它的优越性(見表11),这对航空工业选择材料既要輕又要强度高的原則来講,由表11比較B65就显得更为实用了。

表 10

合金牌号	Д1П	ДВП	Д16П	Д18П	В65
$\tau$ (公斤/公厘 <sup>2</sup> )	24	21	26	19	25

表 11

合金牌号	B65	M	Д162	30ХГСА	20ГА
比强度	14.3	2.7	4.4	8.0	7.7

B65合金还具有优越的铆接工艺性能,再加它的剪切强度较高,使高强度的接合件上的铆接完全摆脱了以前这种热处理与铆接工作必須密切配合的緊張的处境,又省去了中間重复淬火工序和延長孕育期的冰箱。

## 結 語

1. B65是硬鋁合金的一种,属于Al—Cu—Mg系,

2. B65过热过烧的敏感性小,超过資料规定的上限温度(520°C) 10~30°C不会产生过热过烧現象,对强度沒有影响。

3. 适当地提高时效温度,可以縮短时效時間,对抗腐蝕性能也沒有影响。在120~140°C时效3小时可以适当利用。

# 長時間加热对 18-8鋼組織和性能的影响

由于18-8鋼在較高温度下具有抗热性和在不同介質中的抗蝕性,因此,該种鋼(特别是1X18H9T鋼)在許多工业部門中被采用來作仪器、导管、附件及在500~650°C下工作之設備等构件的結構材料。这些鋼的制件多半是在经过淬火(1050~1100°C)之后采用的,即在工作温度下这些鋼制件具有不稳定之組織。

在上述条件下采用18-8鋼时,曾發生多次的意外破裂(1),(5)。在含炭量不同之18-8鋼以及含鈦、鉍、鉬之合金鋼制件(主要是导管)中均發現有破裂現象。

为查明产生破裂的原因,曾經不只一次地进行了各項研究工作(1),(4),(6),其中研究了在較高温度下经过長時間加热,以后的組織和性能之变化(6)~(8)。但是,所得結果不够完全,而且个别部分是相互矛盾的。

于是我們自己提出一項任务,即要系統地

研究在500~900°C下,長時間加热对18-8鋼組織及性能的影响。

研究用的鋼試样曾在500~900°C之間,于电爐中经过各种不同時間(至10000小时)的保温;温度是自动調节的,其准确度为 $\pm 5^\circ$ 。研究了某些牌号鋼的加热及冷却組織对轉变之影响程度。

为了研究組織的轉变及机械和物理性能的变化,曾采用了以下几种方法:金相分析,測定磁饱和及比电阻,磨片及电解沉淀的X-光結構分析\*。此外,还測定过沿奧斯体晶粒边界所分布之各相对数量和机械性能試驗(硬度、冲击韌性,靜力拉伸)。

为了更好地查明晶界上的碳化物,采用由5克苦味酸,5毫升盐酸及250毫升水組成的

\* X-光結構分析系 E. И. Опишук 副教授在莫斯科鋼鐵学院完成的。