

高的强度和塑性。例如在 -190°C 时,含铝及铌的钛合金,其强度极限为 $145\sim 153$ 公斤/公厘²,相对延伸率为10%,相对收缩率为30~39%,冲击韧性为 $4.7\sim 5\sim 6$ 公斤·公尺/公分²;含铝及钼的钛合金 $\sigma_B=159$ 公斤/公厘², $\delta=6\sim 8\%$, $\psi=30\sim 32\%$, $a_K=4.8$ 公斤·公尺/公分²。在相同条件下,Ti-Al-Mn、Ti-Al-Fe等合金的相对延伸率及收缩率为零,冲击韧性也微不足道。

上述合金的焊接性良好,焊缝完全合乎要求(表明塑性合格),这都是它的一个重要优点。后来的研究证明,焊接该合金时,焊缝的塑性(系于工厂条件下用弯曲角在开始出现裂纹之前测得的)可以用加入少量铈和某些

其他高熔点元素的方式得到大大提高。例如含3%Al及5%Nb的钛合金,焊缝容许有 45° 的弯曲角,加入0.1%Re时,弯曲角便提高到 112° ;含3%Al及5%Mo的钛合金,焊接结合处容许的弯曲角为 40° ,加入0.05~0.1%Re时,后者即提高到 $114\sim 115^{\circ}$ 。

結 論

研究結果証明,可以建議將含有3~5%Al及4~5%Mo的钛合金以及含3~5%Al及3~5%Nb的钛合金作为板材而用于各种焊接结构。

鉄浪譯自苏联“Цветная металлургия”1958.№6

含錳鈦合金中 β -相的穩定性

鈦属于多晶形金属并以两种同素异形体存在:低温时为具有六方密排晶格的 α -鈦,高温时为具有体心立方晶格的 β -鈦。杜維斯(Дувес)的研究[1]业已确定,在非合金鈦中甚至当冷却速度約每秒鐘 15000°C 时,也不能阻止 β -鈦向 α -鈦的轉变。但是,采用能溶于 β -鈦中的元素使鈦合金化时,引起 β -固溶体(β -相)在低温时轉变温度和稳定性的下降。正如沃尔涅尔(Уолнер)指出的[2],元素对鈦的同素异形体轉变温度的影响决定于元素在門捷列夫周期表中的位置,而且原子价高于四价的过渡元素可降低轉变温度,原子价愈高降低的程度愈大。在这方面錳对鈦是引入注意的合金添加元素。它与鈦形成有限溶解度的固液体和金属間化合物。在平衡条件下当温度在 1175°C 时錳在 β -鈦中的最大溶解度为33%(重量),并且在 550°C 时降低至20%;在此种温度下 β -鈦按其共析反应进行分解[3]。

本研究的任务在于探索 β -相的稳定条件及其在介稳定状态鎂鈦-錳合金中的稳定性。

原材料及研究方法

采用鎂热鈦和电解錳作为原材料,其中的杂质列于表1。

原材料中的杂质含量 表1

材 料	重 量, %			
	C	Fe	Si	N
鎂热鈦	0.038	0.15	0.1	0.104
电解錳	0.091	0.046	0.33	0.015

鎂、硫及氧的含量沒有測定。

合金系在电弧爐中熔煉而成,其化学成分列于表2。

合金的化学成分

表2

合 金 №	錳 含 量			杂质含量, %, 重量						
	按 爐 料 重量, %	按 分 析		C	Fe	Si	Mg	O	N	H
		重量, %	原子, %							
1	0	0	0	0.11	0.051	未查明	0.1	0.03	0.046	0.011
2	0.5	0.44	0.4	0.023	0.29	0.09	未查明	未測	0.019	未測
3	3	3.06	2.56	0.023	0.31	0.16	未查明	0.05	0.05	0.001
4	5	3.54	3.08	0.027	0.38	0.21	未查明	未測	0.046	未測
5	6	5.42	4.73	0.023	0.40	0.39	未查明	未測	0.028	未測
6	7	5.72	5.0	0.023	0.29	0.13	未查明	未測	0.056	未測
7	10	6.93	6.1	0.023	0.3	0.14	未查明	0.06	0.059	未測

合金的研究系采用金相及X—射线分析，硬度及显微硬度测定方法进行的。X—射线照片系用试片在PKV照相机内按背摄法拍得，（测量 β -相的晶格常数）这时采用铜的辐射。在洛氏硬度机上测得硬度后将所得数据换算为布氏硬度值。显微硬度在TMT-3硬度机上测量，负荷为20克。

淬火时 β 相的稳定性

通过显微组织及X—射线相分析的研究制定了镁热钛合金的相成分曲线图。该图说明了获得介稳定状态 β -相的条件与合金中锰含量及淬火温度的关系图（图1）。

在镁热钛基合金中当锰含量最小（5.73%）及900°C淬火时， β -相是稳定的（图2）。当含量增加至6.93%时，可使 β -相在800°C淬火时稳定。含3.54及5.42%锰的合金在900~950°C淬火，而含5.73%锰的合金在850°C和含6.93%锰的合金在750°C淬火时， β -相分解形成针状组织的 α -相（ $\beta + \alpha'$ ）。 β -相的分解并非在一固定温度下出现的，而是在某一温度范围内。此种现象的原因可能是合金被稳定 α -相的气体杂质所沾污。在经过950~1200°C淬火的含锰3.54%及5.42%的合金中， β -相分解形成介稳定的 ω -相（ $\beta + \omega$ ），该相为六方晶格，其晶格常数 $a = 4.60 \text{ \AA}$ ， $c = 2.82 \text{ \AA}$ [4, 5]。采用X—射线照相法（图3）及把这些合金异

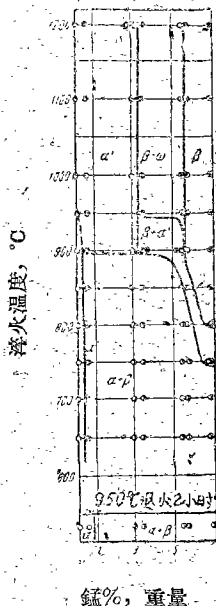


图1 镁热钛-锰合金相成分的介稳定曲线图

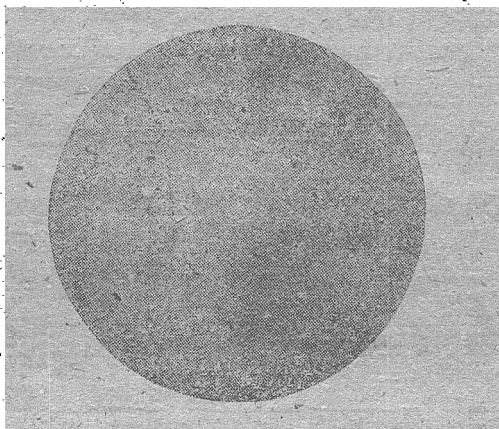
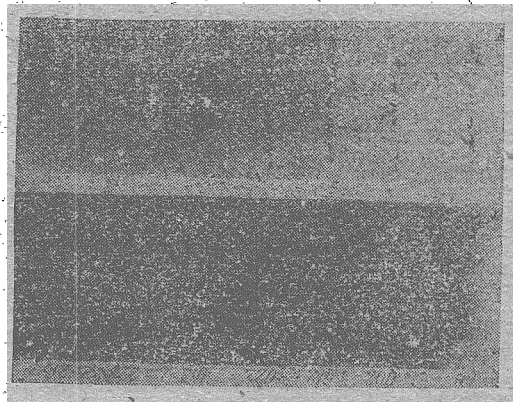


图2 含5.73%锰的钛合金的显微组织，淬火900°C， β -相（ $\times 300$ ）

常高的硬度同含锰5.73及6.93%并具有均匀 β -相组织的合金相比较的方法查出 ω -相。X—光照片上 ω -相线条的漫散证明，它是高度弥散的，因而在显微镜下难于观察到 ω 相。当合金中含有0.44及3.06%锰并在900°C淬火时， β -相分解并形成马氏体型的 α -相（ α' ）。被研究的合金在低于规定转变温度下的淬火能引起 $\alpha + \beta$ -相（ $\alpha + \beta$ ）组织的形成，并且当含锰量及淬火温度较高时 β -相的数量有所增加。

相线



相线

图3 钛合金X射线照片： α —5.73%Mn；900°C淬火， β 相； β —3.54%Mn；950°C淬火， $\beta + \omega$ 相

淬火时冷却速度对 β -相稳定性的影响

为了弄清淬火时冷却速度对 β -相稳定性的影响，将退火状态下具有 α 及 $\alpha - \beta$ -相组织的合金（含0.44~6.93%锰），在950°C下加热1小时后，在温度为400，500及600°C的液体铅和温度为200及300°C的硝酸盐（共晶体混合物：50%KNO₃及50%NaNO₃）中进行淬火，淬火介质中保温1~60秒。同样也在温度为100，50，30，20及10°C的水中，温度1°C的冰水混合物中及温度为100，50及20°C的油中进行了淬火。所进行的试验证明，当含3.54~6.93%锰的合金在20°C及低于20°C温度的水中淬火时，可获得介稳定状态的 β -相。当锰含量较高时（5.73及6.93%）在冷却速度较小的条件下（20°C油中淬火时）， β -相是稳定的。含6.93%锰的合金在400及600°C的液体铅中淬火并相应地停留10及5秒钟时，其 β -相不变。含0.44及3.06%锰的合金经过在30°C及低于30°C温度下淬火后，具有马氏体型的 α -相组织。在所有的其它情况下， β -相分解而成 α -相析出。

-196至600°C温度下介稳定 β -相的稳定性

合金中淬火而形成的 β -相为非平衡相，并力求向

鈦-錳系平衡圖所決定的平衡狀態轉變[3]。為了研究 β -相在介穩定狀態下的穩定性，曾將經過950°C淬火的含0.54~6.93%錳的合金在-196及20°C下分別停留300及3000小時，同時還在100~600°C範圍內加熱，逐漸停留15分鐘~300小時。

合金在-196及20°C下的顯微組織，硬度及顯微硬度在整個停留時間內均無變化，即 β -相仍保持着介穩定狀態。

含3.54%錳的合金在200~500°C範圍內加熱15及45分鐘，未引起顯微組織的變化，但硬度增高（圖4），而且在加熱到200°C時值最大。同時， β -相的顯微硬度在淬火狀態下等於401公斤/公厘²的，而在200°C時增至579公斤/公厘²，在300°C時增至458公斤/公厘²，在400°C時增至428公斤/公厘²。含3.54%錳的合金經200°C加熱和不同時間的停留後，X-射綫分析確定其硬度的增高與 β -相的分解及補充 ω -相的形成有關（與淬火狀態相比較）。

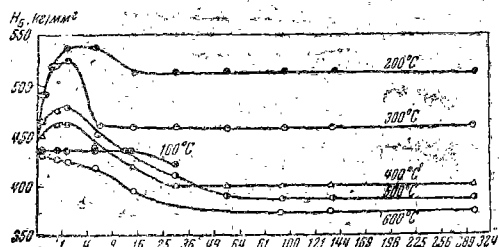


圖4 經900°C淬火後的含錳3.5%的鈦合金硬度變化與加熱時的溫度及保溫時間的關係

經2小時的停留後，X-射綫照片上保留着 ω -相綫條，隨後才出現 $\beta + \alpha$ 相的綫條。 ω -相在此時便消失，這就說明了它是一種過渡性的相。

α -相的析出也可用金相方法來觀察（圖5）。當 α -相析出時，合金的硬度降低， β -相的顯微硬度也有所降低（在300°C時等於415公斤/公厘²，在400°C時為395公斤/公厘²），但是 α -相的顯微硬度在以上溫度內相應為507公斤/公厘²及476公斤/公厘²（代替平衡狀態下的402~426公斤/公厘²），這說明 α -相在析出時處於應力狀態。在500°C加熱時， α -相的析出及合金硬度的降低是在保溫15分鐘後產生的。析出之 α -相的顯微硬度等於平衡狀態時的顯微硬度（426公斤/公厘²），而 β -相的顯微硬度降低至338公斤/公厘²。對於其它所研究過的合金，也可觀察到類似的變化。

例如含錳6.93%的合金，在淬火狀態下具有均勻的 β -相組織，其晶格常數為3.240kx。在200~500°C之間經2小時加熱時，合金的顯微組織無變化，但硬度在經過15分鐘保溫後已經有所增高。經200°C加熱後合金

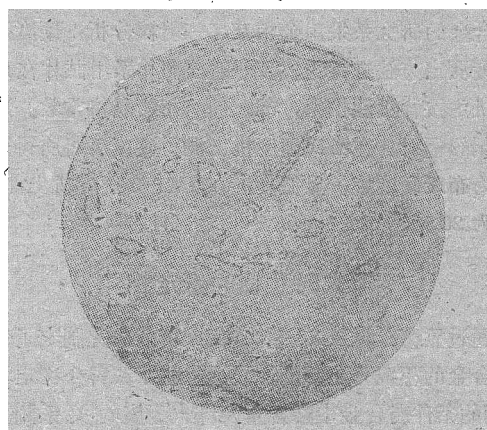


圖5 經950°C淬火的含3.5%錳的鈦合金在200°C加熱2小時後的顯微組織， $\beta + \alpha$ 相（ $\times 300$ ）

的X-射綫分析確定，有 ω -相存在，這說明 β -相被分解，也就是合金硬度增高的原因。在200°C加熱。保溫36小時後在合金組織中有 ω -相存在，而後轉變為 α -相，合金的組織為 $\alpha + \beta$ -相混合物構成（圖6a、b）。採用金相法不能查明 ω -相，但在電子顯微鏡下，可以觀察到 ω -相（圖7a、b）。 α -相析出時合金硬度降低。應當指出，在200~500°C範圍內經過6~10小時加熱後，發現合金產生脆性，在含錳5.42及5.73%的合金中也同樣發現有這種現象。根據合金的分析數據可以得出以下結論，即在合金組織中有 ω -相存在及 β -相的細晶組織是產生脆性的原因。在200°C下加熱並以不同時間保溫時，含錳6.93%的合金中 β -相晶格常數不斷減小（圖8），這說明 β -相的含量改變。加熱至600°C時沒有觀察到 ω -相的析出。經過2小時的保溫後，合金組織中出現 α -相的析出，此種析出物在保溫15分鐘後即可用X-射綫分析方法觀察到。

相 綫

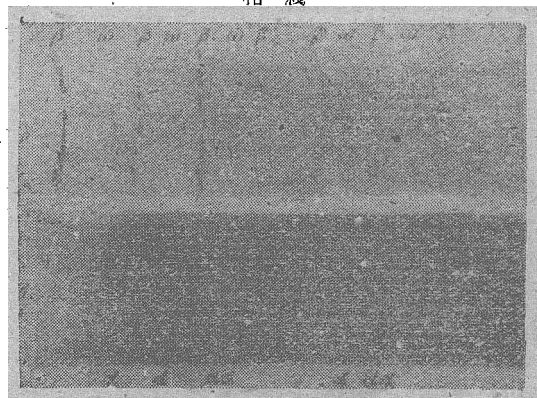


圖6 經950°C淬後並在200°C下加熱後的含6.93% Mn的鈦合金X-射綫照片：
a—25小時， $\beta + \omega$ -相；b—36小時， $\beta + \alpha$ -相

結 論

根据对含錳鈦合金中 β -相的稳定条件及其在介稳定状态下之稳定性所进行的研究得出如下結果:

1. 确定了含錳鈦合金相成分的介稳定平衡圖, 此圖系采用在 $650\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 之間淬火方法所得。在所研究的含錳鎂熱鈦合金中当最低含錳量为 5.73% 并自 900% 淬火时, β -相是稳定的。当由 β -相区淬火时, 在含錳 3.54 及 5.42% 的合金中除 β -相外, 还有 ω 相; 而在含錳 3.54 和 5.42% 的合金中 β -相分解成馬丁体 α -相。

2. 业已确定, 当由 β -相区域在 20°C 及低于 20°C 的水中淬火时, 可以稳定 β -相。在含錳 6.93% 的合金中当在 400 及 600°C 鉛中淬火并相应保温 10 及 5 秒时, β -相保持不变。

3. 研究了 β -相在 $-196\sim +600^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的稳定性, 在 -196 及 20°C 温度下相应停留 300 及 3000 小时后, β -相保持介稳定状态。在 $100\sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围内加热时, β -相分解并按 $\beta\rightarrow\beta+\omega\rightarrow\beta+\alpha$ 形式形成中間性 ω -相, 在 600°C 加热时 β -相分解并析出 α -相。在 β -相分解过程中随着晶格常数的减小, 其含量也发生变化(錳含量增加)。

4. 当 β -相分解而形成 ω -相时引起被研究的合金硬度增高, 同时也是在 $500\sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围内加热并經 $6\sim 16$ 小时保温后, 含錳 $5.42\sim 6.93\%$ 合金产生脆性的原因。当析出 α -相时, 合金硬度降低。

文 献

1. P. Duwez "Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng", 1951, vol. 191, P765.
2. H. W. Worner. "Acta Metallurgica", 1954, Vol. 2, N2, P. 310-
3. D. J. Maykuth, H. R. Ogden, R. J. Jaffee. "Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng", 1935, vol. 197, P. 255.
4. Ю. А. Багарицкий, Т. И. Носова, Т. В. Тагунова. "Докл. АН СССР". 1955, Т. 105, №6, стр. 1225.
5. J. M. Silcock, M. H. Davies H. K. Hady. "Nature", 1955, vol. 175, N4490, P. 731.

袁文釗譯自苏联科学院出版

"Титан и его сплавы"第17頁

郝应其校

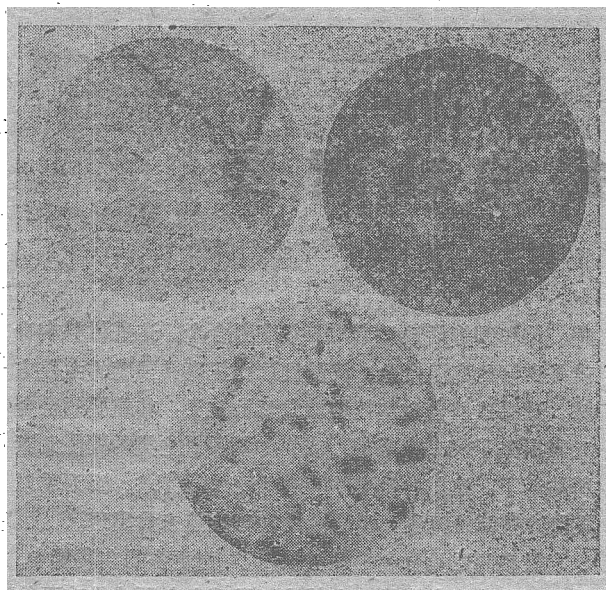


圖7 含錳 6.93% 鈦合金的电子显微照相:

a— 950°C 淬火, β -相; б— 200°C 加热16小时, $\beta+\omega$ -相;
в— 200°C 加热, $\beta+\alpha$ -相($\times 20000$)

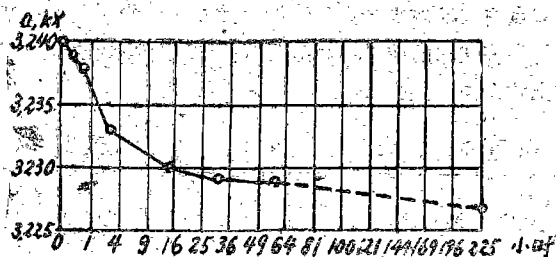


圖8 在 200°C 下加热并以不同時間保温时, 含錳 6.93% 鈦合金 β -相晶格常数的变化

硬度和显微硬度测量, 金相和X-射綫分析以及电子显微照相所得数据表明, 在淬火的含錳鈦合金中 β -相是不稳定的, 在加热时分解并形成 ω -相。含錳 3.54% 的合金在 200°C 加热并保温 2 小时后, 其組織保存有 ω -相; 而含錳 6.93% 合金保温 36 小时后, 組織中也保存有 ω -相; 而后 ω -相轉变为 α -相, 因此它是一个由 β -相往稳定状态(α -相)过渡的中間相。

在 600°C 加热时 β -相直接分解而析出 α -相。在 β -相的分解过程中 β -相的含量发生变化(其中錳含量增加), 同时 β -相的晶格常数也减小。

(上接43頁)

度的 50% 。214 橡皮的耐热性超过 Kel-F 3700 橡皮; 后者在 287°C 下經 5 小时便失效, 而前者在 315°C 下能經住 5 小时, 在 287°C 下—— 70 小时。214 橡皮与硅油 M-LO 8200 接触时, 在 315°C 下能保持 5 小时; 在 269°C 下

—— 70 小时。214 橡皮在抗其他油 (Turbo oil) 作用方面也比 Kel-F 3700 好。以上两种彈性体的缺点是耐寒性不够, 只能在不低于 -12°C 下使用(洪)。

选自苏联化学文摘 (Rubber Age, 58 年, 83, No 45: 647~652)