

Ti-6Al-4V合金と黒鉛の固相接合

斉藤 修・古谷国夫・日原政彦

Solid state Bonding of Ti-6Al-4V Alloy to Graphite

Osamu SAITO, Kunio FURUYA and Masahiko HIHARA

要 約

等方性黒鉛とTi-6Al-4V合金を真空高温下で固相接合を行い、接合条件と接合強度の関係及び接合界面の反応生成物について検討を行った。その結果、900~990℃の温度範囲では、良好な接合性を示し、これらの接合界面にはTiCの生成が認められた。

表1 Ti合金の化学成分及び特性

化 学 成 分 (Wt%)								機 械 的 特 性		
C	H	O	N	Fe	Al	V	Ti	引張強度 (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
0.01	0.0005	0.16	0.01	0.14	6.24	4.28	BAL	1430.8	18.0	47.0

1. はじめに

高融点で熱衝撃性、熱伝導性及び耐食性などの優れた特性を有する黒鉛は、近年、各工業分野において広く用いられている。^{1,2,3)} このため黒鉛と金属及び黒鉛同志の接合の必要性が高まっている。

前報では、Tiと黒鉛の真空高温下での固相接合性について検討し、強固な接合が可能であること及びこれらの接合界面には反応相としてTiCが生成され接合強度の向上に寄与していることを報告した。⁴⁾

本報では、代表的チタン合金であるTi-6Al-4V合金と黒鉛との固相接合性について同様の検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

接合素材は、大同特殊鋼製のTi-6Al-4V合金とエスイーシー社製の等方性黒鉛材(MG-Y)の直径25mmの丸棒を用いた。これらの化学成分及び材料特性を表1、表2に示す。これらの接合素材をチタン合金は20mm、黒鉛は15mmの長さに切断し、接合面をエメリー紙で1000番まで平坦に研磨した。その後、アセトンで脱脂・洗浄を行い、図1に示すように3層に積層して接合を行った。接合にはホットプレスを用い、 1×10^{-2} Pa以上の真空中で接合加圧力1.96MPa、接合時間30分一定とし、830~1050℃の温度範囲で接合材を作成した。図2は接合プロセスを示す。接合素材内部の温度上昇の遅れを考慮して、

表2 黒鉛の諸特性

引張強度 (MPa)	かさ比重 (g/cm ³)	熱導率 (kcal/mh°C)	熱膨張係数 ($\times 10^{-4}$)	比抵抗 ($\mu\Omega\text{cm}$)	ショア硬さ	灰分 (%)
49.0	1.76	120	50	1000	45	0.1

雰囲気温度が接合温度に到達してから10分間経過後、加圧力を加え接合処理を行った。接合材は引張試験片(直径2.1mm)に加工し、図3に示す試験方法で室温における接合強度を測定した。また、SEM、EPMA及び

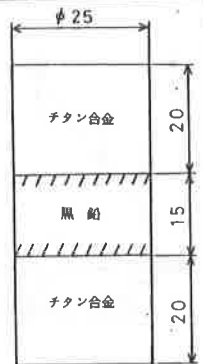


図1 接合材の形状

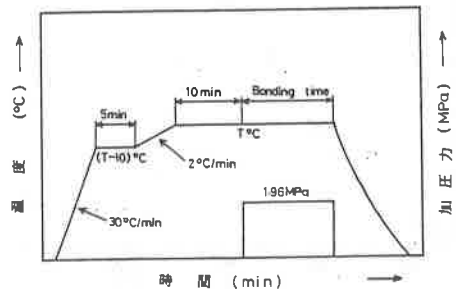


図2 接合プロセス

X線回折法により接合界面の反応生成物について調査した。

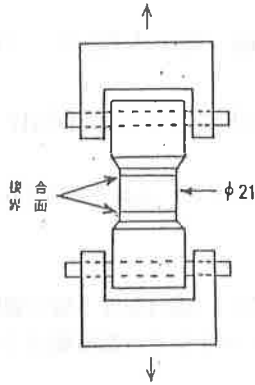


図3 引張試験方法及び試験片形状

3. 実験結果及び考察

図4は引張試験結果である。Ti-6Al-4V合金と黒鉛は、接合温度850℃付近より接合可能となり、900~990℃の温度範囲では黒鉛素材と同等の接合強度を示した。接合温度が1000℃になると接合強度は急激に低下し、1025℃以上では接合が不可能となった。

図5は接合時のチタン合金部の変形率である。接合温度850℃付近までは変形率が低いが、

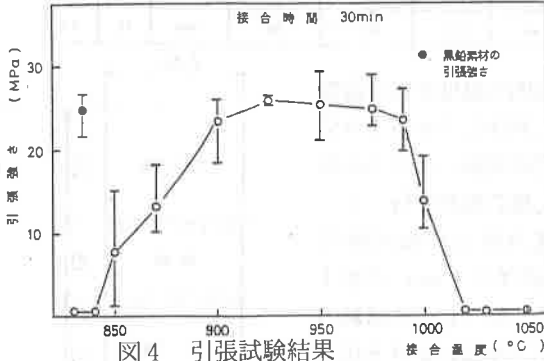


図4 引張試験結果

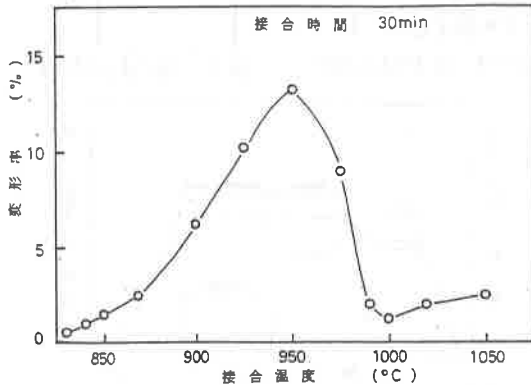


図5 チタン合金の接合時の変形率

接合温度の上昇に伴って変形率は増加し、950℃で最高値を示した。その後、接合温度とともに変形率は減少し、990℃付近で急激な低下を示した後、再びわずかながら増加する傾向を示した。

固相接合が可能となるためには、接合界面の密着化が進行することが前提となる。850℃以下の温度範囲で十分な接合が起こらないのは、接合時の変形率が低く、界面の密着化過程が充分進行しないことが原因と考えられる。

図6は接合温度975~1020℃で接合した試験材の、接合界面近傍のチタン合金の金属組織である。接合温度975℃では、購入素材と同様な微細等軸α晶を呈しているが、990℃になると、等軸α晶が粗大化すると共に針状α晶が一部出現しているのが認められる。さらに接合温度が上昇し、1000℃以上になると、針状α晶領域が拡大しているのが認められる。

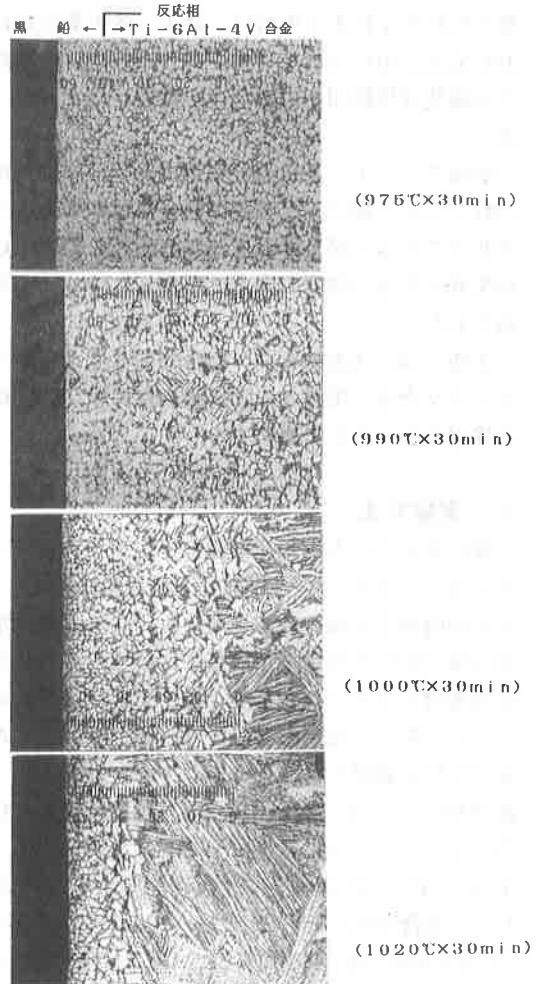


図6 接合界面近傍のチタン合金の組織変化(×200)

Ti-6Al-4V合金は、995℃付近に α - β 変態点の存在が知られているが⁵⁾、この前後で組織が大きく変化し、これにより変形率の低下が起こったものと考えられる。また、接合強度が1000℃付近で急激に低下する現象については、以下の原因が考えられる。

まずこれらの温度領域では、接合時、チタン合金の変形率が低く、接合界面の密着化が進行しにくく、強固な接合が得られ難いこと、また、接合温度の上昇に伴ってチタン合金と黒鉛の熱膨張差に起因する熱応力が接合界面で増大すること、さらに、 α - β 変態点前後での組織変化により、チタン合金の熱膨張量が不連続的に変化し、同様に接合界面での熱応力も不連続的な変化を起こすこと等が接合強度の低下に関係しているものと考えられる。

図7は接合部断面のSEM像及びEPMA線分析結果である。接合界面に白色の反応相が認められる。また、反応相内部には、Ti及びCの存在

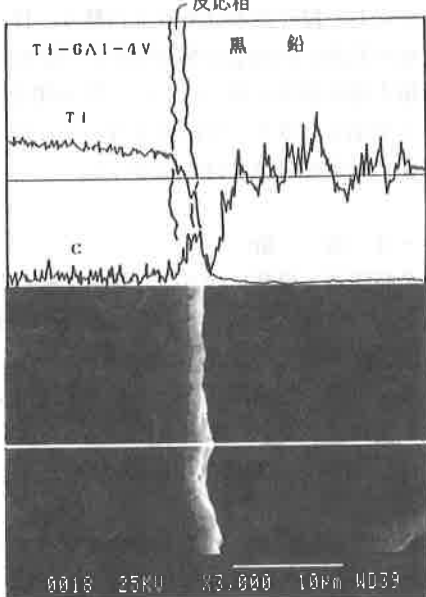


図7 接合界面部のSEM像及びEPMA線分析結果 (1000℃×30min)

が認められる。反応相を同定するため、接合界面の黒鉛部分を除去し、チタン合金側の接合界面をX線回折法により定性分析を行った。図8はその結果であり、TiCの回折ピークが認められた。

以上のことからTi-6Al-4V合金は、Tiと同様、黒鉛と接合界面でチタンカーバイドを含有する反応相を生成し接合するものと考えられ

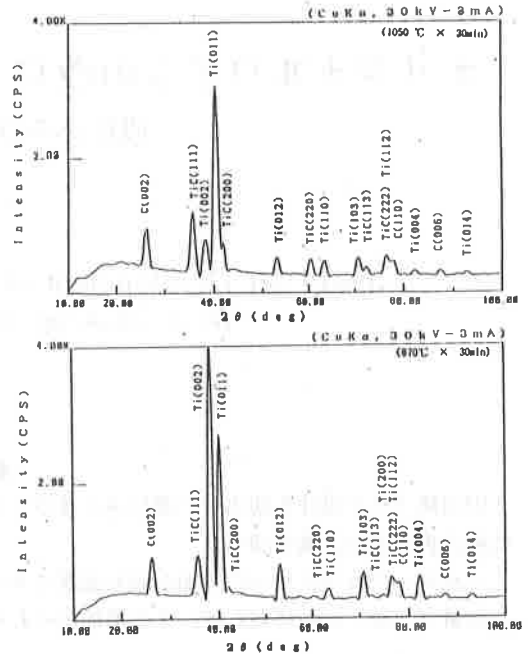


図8 接合界面のX線回折結果

る。

3. おわりに

Ti-6Al-4V合金と黒鉛を真空高温下で固相接合を行い、接合条件と接合強度の関係及び接合界面の反応生成物につき検討を行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) Ti-6Al-4V合金と黒鉛は、900~990℃の温度範囲で良好な固相接合性を示す。
- (2) Ti-6Al-4V合金と黒鉛の固相接合体は、室温で黒鉛素材強度に近い25MPa程度の接合強度を示す。
- (3) Ti-6Al-4V合金と黒鉛の固相接合界面には、反応生成物としてTiCが形成される。

文 献

- 1) N.L.Karęta : Automatic Welding, Vol.20 No.1 (1967) 56.
- 2) 大村博彦他 : 溶接学会論文集, Vol.18 No.4 (1990) 9.
- 3) 吉田享他 : グラファイトの接合 日本金属学会金属セラミック接合研究会資料 (1988)
- 4) 斉藤修他 山梨県工業技術センター研究報告 5, 53 (1991)
- 5) 草道英武 金属チタンとその応用 54 (1987)