

新素材の中小企業への適用技術に関する研究

(I) —Ti-6Al-4V合金の拡散接合—

斎藤 修・日原政彦・古谷国夫・橋田 美

Application Technologies of New Materials for Small
Medium-Sized Enterprises.

—On Diffusion Welding of Ti-6Al-4V Alloy—

Osamu SAITO, Masahiko HIHARA,
Kunio FURUYA and Konomu KITTA.

要 約

市販のTi-6Al-4V合金を850°C、900°Cの真空中で拡散接合し¹⁾、接合性能に及ぼす接合温度、接合時間、接合加圧力の影響について検討した結果、以下の結果が得られた。

- (1)接合加圧力の増加に伴ない、接合界面のボイドの消失時間は短縮されるが、接合材料の変形量も増加した。
- (2)接合温度900°Cでは、850°Cにくらべ短時間、低加圧力で母材破断を示す接合が可能であった。
- (3)接合時間の経過とともに、接合界面のボイドは減少し、接合材の伸び、絞りは増加した。
- (4)接合初期におけるボイド形成位置は、接合前の表面状態に依存するものと思われる。
- (5)接合界面のボイドの減少に伴い、引張試験における接合材料の伸び、絞りは増加するが、引張強さは顕著な変化を示さなかった。

1. 諸 言

チタン及びチタン合金は、軽量、高強度、高耐食性などの優れた特性²⁾を有し、航空機、宇宙機器、原子力プラント等の先端技術分野で広く使用されているが、製造コストの低下により、今後自動車産業へも適用されていくものと予想されている。このため、中小企業においても、これらの加工技術、適用技術が要求されてくるものと思われるが、これらの材料は鉄鋼材料に比べ加工性に問題があり、その技術的克服が課題となっている。

そこで、チタン合金のなかでも最も用途が多いTi-6Al-4V合金について、拡散接合性能に及ぼす接合温度、加圧力、接合時間等の関係について検討することにした。

2. 実験方法

拡散接合装置として、超高温ホットプレス装置(ネムス社製)を用いた。図1、表1にその概要及び装置の性能を示す。また、写真1は装置の外観である。実験に用いた素材は、市販のTi-6Al-4V合金の丸棒(直径18mm)である。その化学組成、及び機械的性質を表2、表3に示す。接合試料は、長さ40mmに切断後、接合面を1000番のエメリーペーパーで研磨し、接合直前にアセトン中で脱脂洗浄してから図1のように接合装置にセットした。接合試料の加熱は、黒鉛ヒーターによる輻射加熱で、加圧は油圧プレスにより一軸方向に加圧した。接合は、 $3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$ Paの真空中で行った。接合温度は、本材料が超塑製を示す温度領域の850°C、及び900°Cに選定した。炉内温

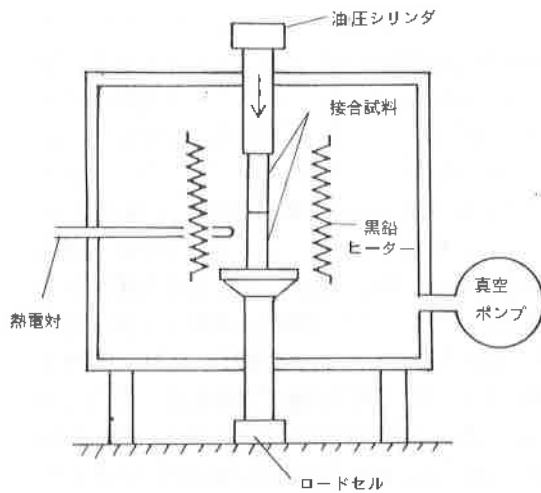


図1 接合装置の構成

表1 装置の性能

加熱温度	最高2300°C
ヒートゾーンサイズ	150φ+200mmH
到達圧力	$\times 10^{-6}$ Tor
加圧力	5 Ton
加圧ストローク	100mm
加圧速度	可変

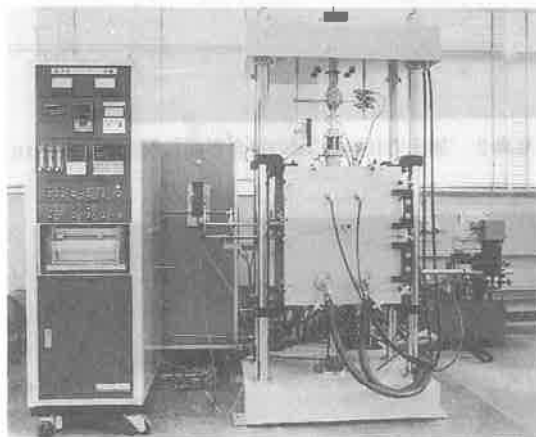


写真1 装置の外観

度の測定は、接合試料から60mm離れた位置に熱電対を挿入して行った。接合試料内部の温度上昇の遅れを考慮して、雰囲気温度が接合温度に到達し

てから10分間経過したのち、所定の加圧力、時間で接合処理を行った。図2に接合プロセスを示す。接合終了後、加圧方向の縮み量を測定したのち、図3に示す位置から引張試験片と接合界面観察試料を採取した。引張試験片は図4に示す形状とし、2mm/minの引張速度で試験を行い、引張り強さ、伸び、絞り、を測定した。接合界面の観察は、クロール氏液でエッチング後、走査型電子顕微鏡で行った。

表2 素材の化学成分

Ti-6Al-4V	化学成分(%)						
	C	Al	V	Fe	N	O	Ti
	0.01	6.19	4.12	0.14	0.01	0.16	BAL

表3 素材の機械的性質

Ti-6Al-4V	引張強さ (Kgf/mm)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ Hv
	105.3	19.4	34.8	309.9

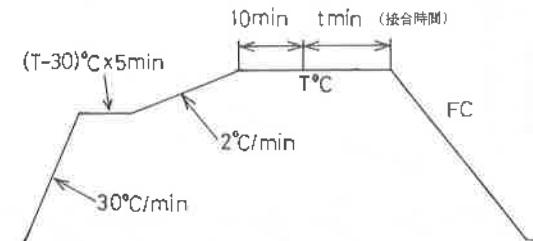


図2 接合プロセス

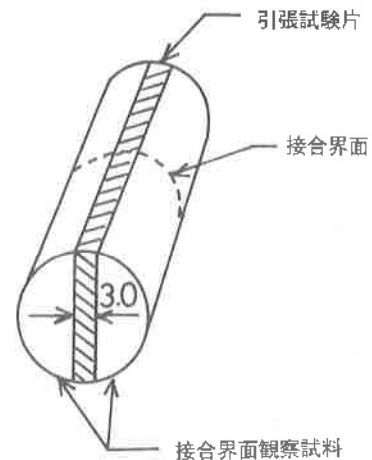


図3 試験片採取位置

3

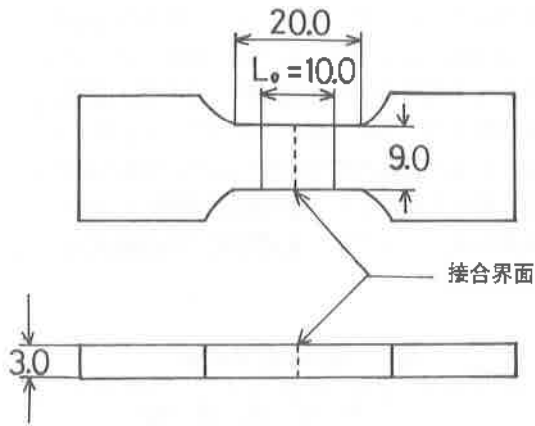


図4 引張試験片形状

3. 結果と考察

接合温度、接合時間を、850°C-15分と一定にし、加圧力を変えて接合した時の試料の歪み量

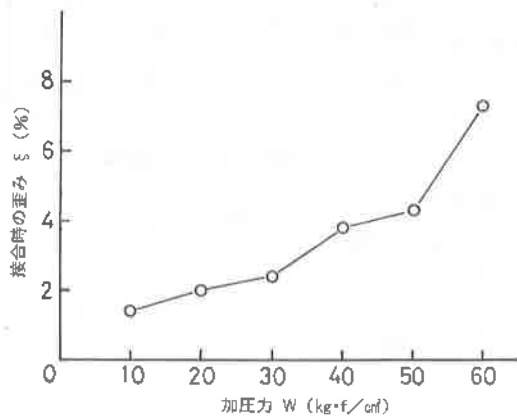


図5 接合加圧力と試料の歪みの関係(850°C-15分)

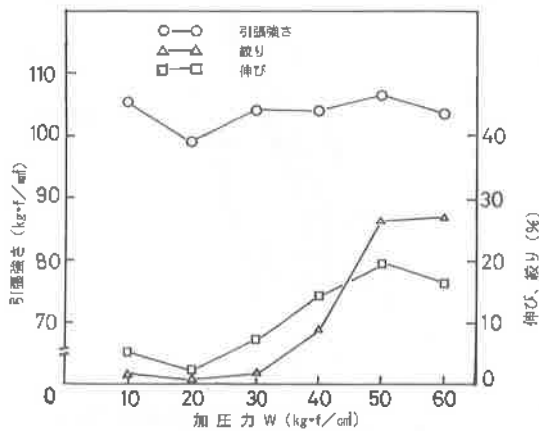


図6 引張試験結果 (850°C-15分)

[$(\Delta L/L_0 \times 100\%)$ 但し、 ΔL ; 加圧方向の縮み量、 L_0 ; 接合前の試料長さ] を図5に示す。加圧力の増加に伴い、接合時の歪みは直線的に増加した。図6に、これらの試料の引張試験結果を示す。引張強さは、加圧力を変えても大きな変化を示さず、105kgf/cm²前後の素材に近い値を示した。一方、伸びと絞りは、加圧力が40kgf/cm²付近から増加を始め、50kgf/cm²以上ではほぼ安定する傾向を示した。引張試験片の破断は、加圧力50kgf/cm²以上では母材部分で破断したが、これより低い加圧力では接合界面で破断した。写真2~5は、これらの接合界面の状況である。加圧力が10kgf/cm²では、長さ10μm前後の細長いポイドが多数観察される。加圧力が30kgf/cm²になっても、接合界面におけるポイド領域の比率はあまり減少しないが、個々のポイドは丸みを持った形状に変化してくるようである。加圧力が40kgf/cm²になると、ポイドはその数と大きさを減少し、接合領域が急激に増加している。さらに、加圧力が

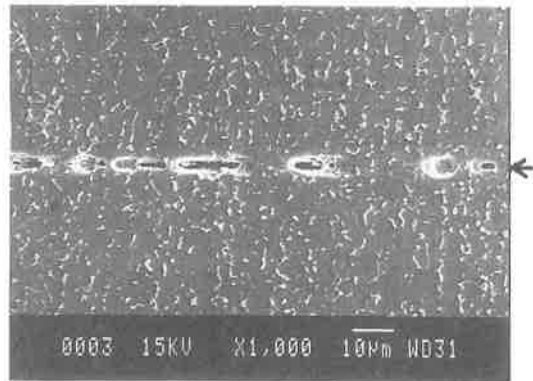


写真2 加圧力10kgf/cm²の接合界面状況(850°C-15min)

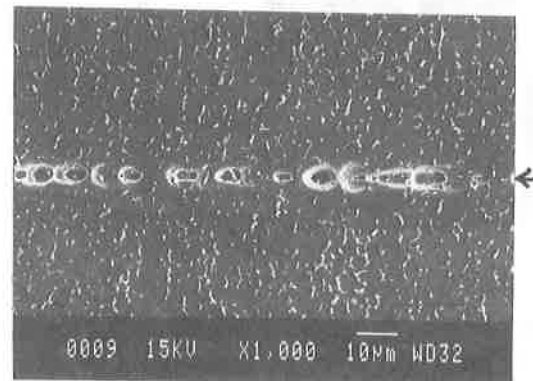


写真3 加圧力30kgf/cm²の接合界面状況(850°C-15min)

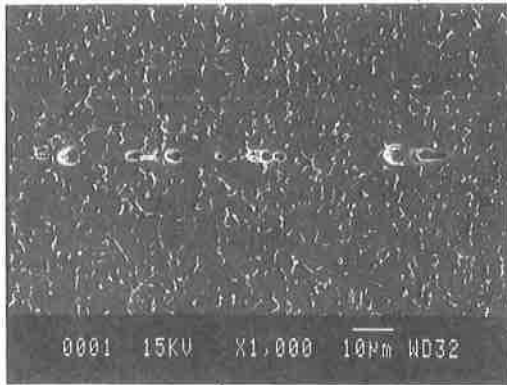


写真4 加圧力40kgf/cm²の接合界面状況(850°C-15min)

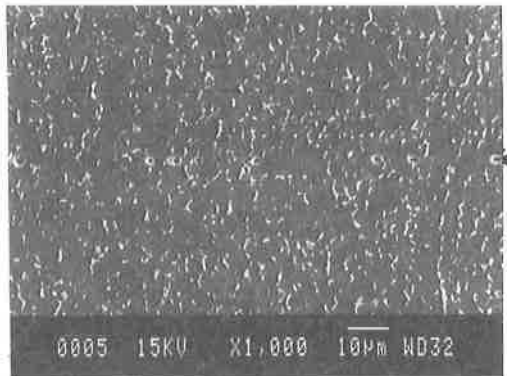


写真5 加圧力50kgf/cm²の接合界面状況(850°C-15min)

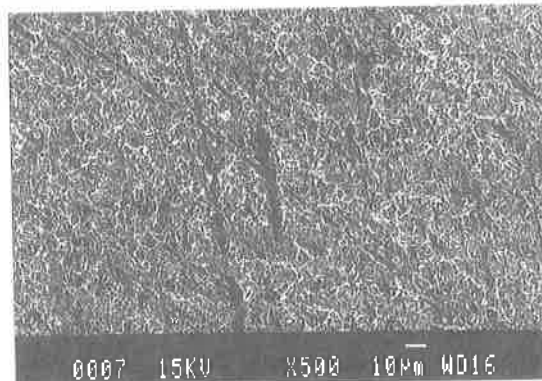


写真6 接合面破断の破面状況(850°C-20kgf/cm²-15min)

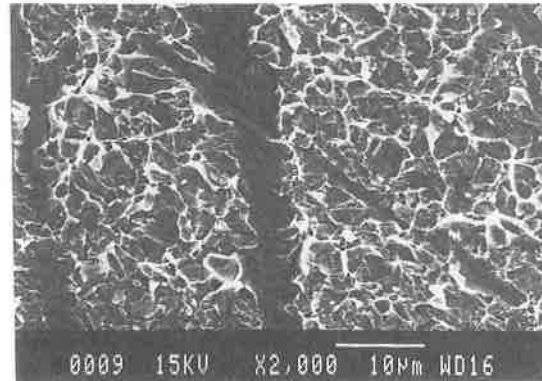


写真7 写真6の拡大観察

50kgf/cm²になると、ポイドは2~3 μm程度にまで縮小し、接合領域は一段と増加している。以上のように、850°C-15分の接合条件では、加圧力40kgf/cm²付近から接合領域が急激に拡大するが、これにより引張試験結果での伸び、絞りの増加が起こるものと考えられる。写真6は、引張試験で接合面破断をした試料(加圧力20kgf/cm²)の破面を観察したものである。直線的な黒い領域が認められる。写真7は、これをさらに拡大観察したものである。黒色部以外の領域は、靱性破面を呈しており、すでに接合が進行していた領域と考えられ。一方、黒色領域には、接合した痕跡が認められない。これらの領域が比較的直線的であり、また方向がそろっていることから、試料研磨時の深い条痕が未接合領域として残存したものと考えられる。以上のことから、接合初期におけるポイド形成の位置は、接合前の表面状態と深い関連があるものと考えられる。

次に接合温度を900°Cに変え、同様に接合加圧力を変えて15分間で接合した時の試料の歪み量を図7に示す。加圧力の増加に伴い、歪みは直線的に増大する。しかし、850°Cで示した歪みの加圧力に対する変化率($\Delta \epsilon / \Delta W$)に比べ、900°Cでは4倍以上の高い値を示した。図8は、これらの接合試料の引張試験結果である。引張強さは加圧力の増加に伴い、わずかに増加傾向を示すものの、ほぼ100kgf/m²前後の安定した値を示し、どの試料も母材部で破断した。絞りも、加圧力に対し顕著な変化は示さず、32%以上の素材並の値

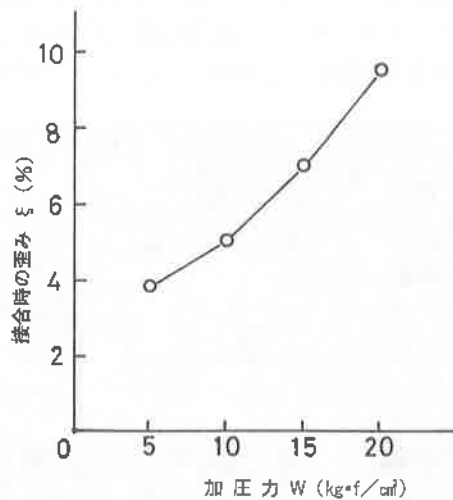


図7 接合加圧力と試料の歪みの関係(900°C-15分)

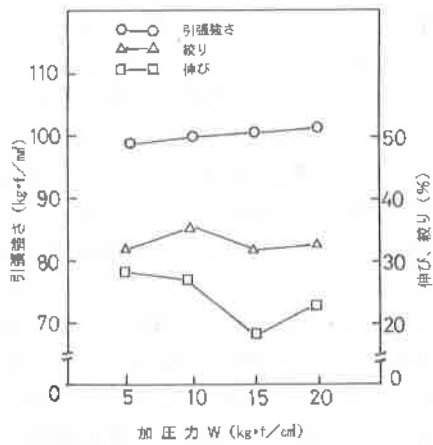


図8 引張試験結果 (900°C-15分)

を示した。伸びは加圧力の増加に伴い、若干減少する傾向を示したが、どの接合条件でも素材以上の値を示した。なお900°C接合試料は、850°Cに比べ引張強さが若干低い値を示している。その原因として、接合処理中の加熱による焼鈍効果が考えられる。そこで、素材に接合時と同一の熱履歴を与え引張試験を行った。その結果、850°Cで104.3 kgf/mm²、900°Cで98.9 kgf/mm²の値が得られ、接合試料の引張強さと同等の結果が得られた。写真8は、加圧力5 kgf/cm²で接合した試料の接合界面の状況である。1 μmほどのポイドが数個観察される程度で、接合界面を見出すのが難しいまでに接合が進行している。

このように900°Cにおいては、5 kgf/cm²という低い加圧力でも、15分間の接合時間で十分な接合性能を示した。そこで、接合時間の短縮と接合精度の向上を図るため、900°C-5 kgf/cm²の条件で、

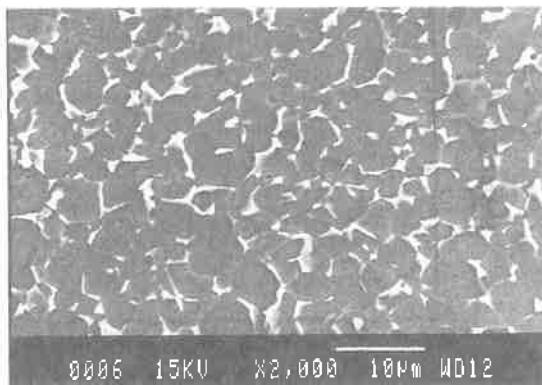


写真8 加圧力5kgf/cm²の接合界面状況(900°C-15min)

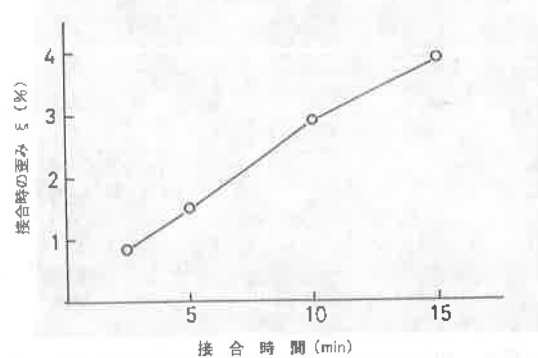


図9 接合時間と試料の歪みの関係 (900°C-5kgf/cm²)

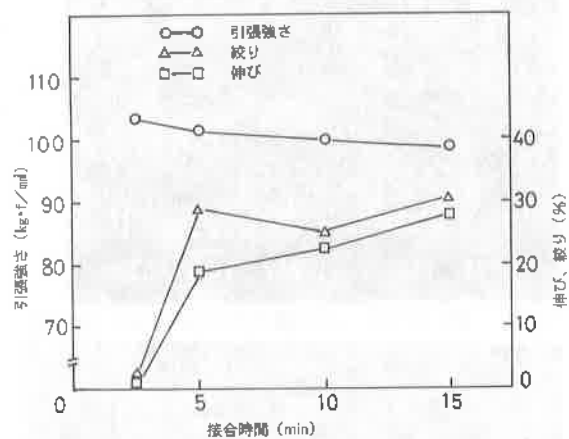


図10 引張試験結果 (900°C-5 kgf/cm²)

接合時間を10分、5分、2.5分として接合試料を作成し、同様の方法で引張試験、接合界面観察を行った。図9は、接合時間と歪み量の関係である。時間と共に、歪み量は直線的に増加している。図10は、これらの引張試験結果である。引張強さは、

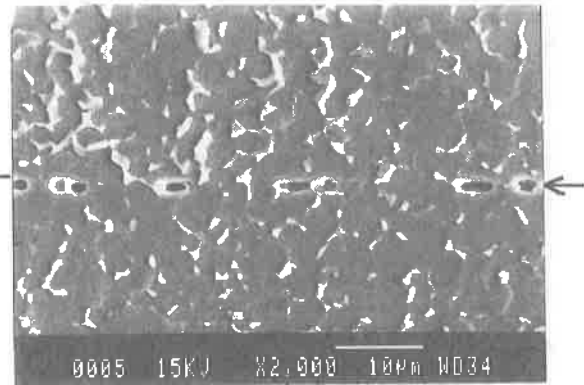


写真9 接合時間2.5分の接合界面状況(900°C-5kgf/cm²)

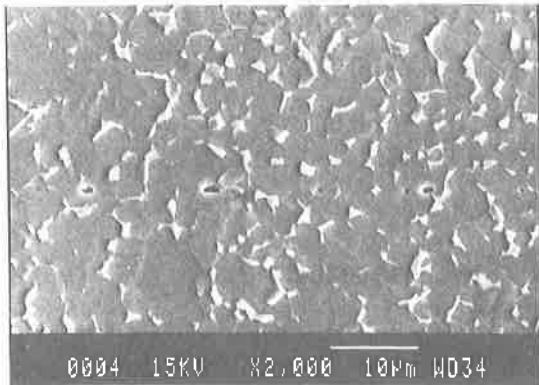


写真10 接合時間5分の接合界面状況 (900°C-5kgf/cm²)

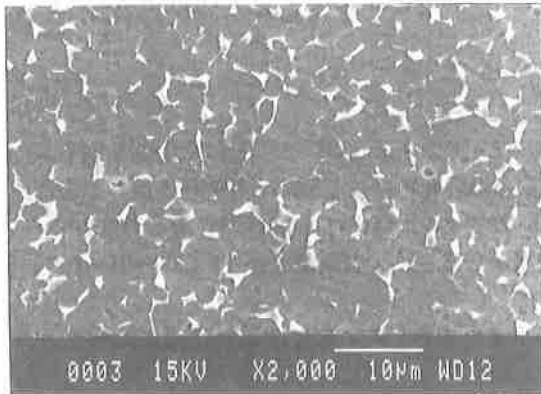


写真11 接合時間10分の接合界面状況 (900°C-5kgf/cm²)

- (3)接合時間の経過とともに、接合界面のポイドは減少し、接合部の伸び、絞りが増加する。
- (4)接合初期におけるポイド形成位置は、接合前の表面状態に依存するものと思われる。
- (5)接合界面のポイドの減少に伴い、引張試験における接合材料の伸び、絞りは増加するが、引張強さは顕著な変化を示さなかった。

文 献

- 1) 圓城敏男他; 日本金属学会誌 44、P659 (1980)
- 2) 草道英武他; 「金属チタンとその応用」 日刊工業新聞社、P52~、P218~、(1983)
- 3) 岡田稔、三矢尚; 金属、アグネ、59、5、P35、(1989)
- 4) GUNTER PETZOW; 金属エッチング技術、P96、(1977)
- 5) 圓城敏男他; 溶接学会誌、51、P1028、(1982)

接合時間とともにわずかに減少する傾向を示し、接合時間5分以上で母材破断を示した。伸びと絞りは、接合時間2.5分では極めて低い値を示したが、5.0分以上では母材に近い値を示した。写真9~11は、これらの接合界面の状況である。接合時間2.5分では、かなり多くのポイドが認められるが、接合時間5分以上では急激に減少している。

以上のように、900°C×5 kgf/cm²の接合条件では、接合時間5分以上で母材破断を示し、その時の歪み量は1.5%と高精度な接合が可能であった。

4 おわりに

以上、Ti-6Al-4V合金の拡散接合性能につき検討した結果以下のことが明らかとなった。

- (1)接合加圧力の増加に伴い、接合界面のポイドの消失時間は短縮されるが、接合材料の変形量も増加する。
- (2)接合温度900°Cでは、850°Cに比べ短時間、低加圧力で母材破断を示す接合が可能であった。