

## 短時間拡散接合したチタンとステンレス鋼接合部の 微細構造と強度特性

伊藤 雅章\*, 増井 孝実\*

### Microstructure and Mechanical Properties of Short Time Diffusion Welded Titanium and Stainless Steel Bond

by Masaaki ITO and Takami MASUI

#### 1. はじめに

特性の優れたチタン合金の利用拡大のためには、素材・加工コストで優れる鉄鋼との複合化が必須の課題である。われわれは真空中の拡散接合によりJIS-2種純チタンと鉄鋼の代表的成分を含む304ステンレス鋼を複合化することを試みた。その結果、直接接合では界面に金属間化合物相が形成されること、あるいはチタンがFeを固溶して硬い $\beta$  Tiに変化することが原因して十分な強度の接合部は得られなかった<sup>1)</sup>。このことを解決するため中間材を用いることを提案し、ステンレス鋼接合面にイオンプレーティングしたNi膜<sup>2)</sup>、最終的にはNb, TaなどとCuとを組み合わせることで高強度な接合部が得られることを示した<sup>3)</sup>。特に、最後の手法では金属間化合物相が全く形成されず、靱性があって各種機械的用途にも適合できる接合部が得られた。

直接接合法では十分な強度を有する接合部は得られなかったが、Tiとステンレス鋼成分の界面における反応は非常に複雑であり、拡散接合部の界面反応を解析することはチタン合金の利用に役立つと思われる。さらには、工業プロセスの変化によっては直接接合法の利用もありうる。そのためには直接接合部の強度特性および構造を把握することが不可欠で、後者についてはTEM(透過電子顕微鏡)でその一部を明らかにしてきた。ただ、接合時間が1.8ksに限られており高強度の接合部が得られると予測される短時間接合部については

TEM観察は実施していなかった。そこで、今年度の大阪大学接合科学研究所の共同研究制度のもと、設備されたTEMを用いて短時間接合部を観察するとともに、その構造と強度特性の関連を調べようとした。

#### 2. 実験の方法

接合面をダイヤモンドペーストでバフ研磨仕上げした、径20mmで長さ37mmのJIS-2種純チタン棒とSUS304ステンレス鋼棒とを、当所の拡散接合装置を用い1033K~1183K、180sで接合した。接合強度は径8mmに仕上げた引張り試験片で評価した。1083Kの接合部を薄膜化し、EDX付属の日本電子製JEM2010でTEM観察した。なお、引張り試験後の破断面をX線回折して界面の構造解析の援用とした。

#### 3. 結果と考察

図1は接合部の強度を示し、接合部は母材破断に至らず全て界面で破壊したが、ならべて示した接合時間1.8ksのものにくらべ強度の向上がみられた。これは反応相の成長が少ないためと考えられる。1133Kでおよそ375MPaの最高強度が得られたが、最高強度となる接合温度が1.8ksの1083Kから1133Kと高くなったのは、短時間のうちに接合面の密着化をすすめるには高い温度が必要のためと思われる。

他のチタンとステンレス鋼の拡散接合の研究でも得られた最高強度はほぼ370MPaとされている。例えば、脆弱な化合物相を薄くするため、高真空

\* 機械電子グループ

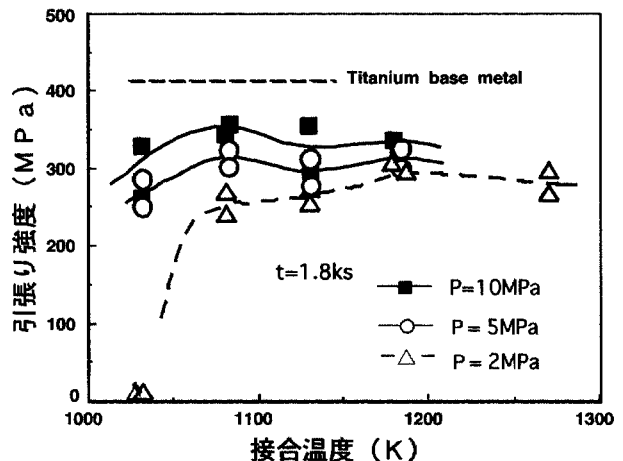
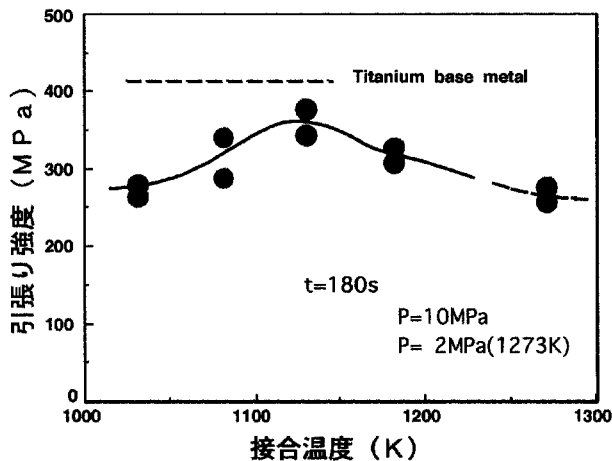


図1 接合部の引張り強度

中で1023Kと低い温度・60s程度の短時間でTi-5Taチタン合金（耐食性を向上させるためTaを含み、機械強度はJIS-2種チタンに相当）と304L鋼（耐食性向上のために304鋼を低炭素化したもので、機械強度は304鋼と同等）を拡散接合すると、372MPaの最高強度が得られている<sup>4)</sup>。また2種チタンと304L鋼の接合面を予め真空中で加熱処理することで清浄にして接合強度の向上が試みられ、376MPaの最高強度が得られている<sup>5)</sup>。そこで本実験のように2種純チタンと304（あるいは304L）ステンレス鋼とを拡散接合して得られる最高強度は370MPa近傍にあると推測できる。

このように接合部の最高強度がほぼ一定の値となる要因については、低強度側のチタン母材の強度が影響すると推測した。このことを確かめるためJIS 2種純チタンと比べて酸素含有量が少ないため低強度の1種純チタンと、含有量が多く高強度の3種純チタンを用い接合時間・圧力を180s・10MPaとして接合した。その結果、全て接合界面で破断したものの、図2のとおりチタン材の強度が高いと接合強度も高くなる結果を得た。

各種チタン毎に得られた最高強度310MPa、375MPaおよび440MPaは、それぞれのチタンの耐力と引張り強さの間にある。引張り応力が耐力を超えると接合部の母材 $\alpha$ Ti域では塑性変形が始まるが、近接する薄い $\beta$ Tiと金属間化合物相は硬くて変形し難い。応力が母材破断強度に近づいたが $\alpha$ Tiの塑性変形が著しくなり、変形能の低い化合物相あるいは $\beta$ Tiが脆性破壊することは容易に予測できる。すなわち界面反応相と $\beta$ Tiが存在するため、接合部の強度はチタンの母材

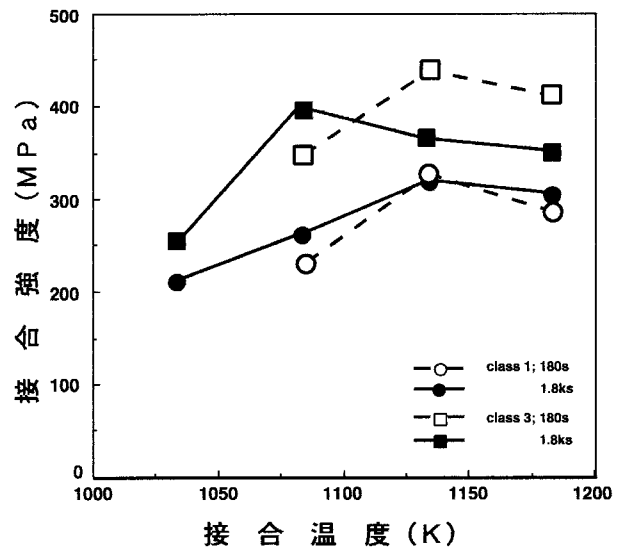


図2 チタン種と引張り強度

の耐力を大きくは上回らないといえる。

図3と4はTEM観察の結果例で、図3AあるいはBでの電子線回折像を該当すると考えた物質のキーマイナグラムと併せて示したのが図4である。この場合、 $Ti_2Ni$ 、 $Fe_2Ti$ および $\alpha Cr$ の存在が示されている。このようにして、 $\beta$ Tiと $\gamma$ Fe (SUS304鋼)の間には1.8ksの場合と全く同じ配列で、 $Ti_2Ni$ 、 $FeTi$ 、 $Fe_2Ti$ 、 $\alpha Cr$ 、 $\sigma$ FeCr、 $\alpha$ Fe (Cr) からできている界面反応相が存在することがわかった。なお、TEM観察は実施しなかったが破断面のX線回折によると1.8ksと同様、1183K以上では $Ti_2Ni$ は形成されないことが明らかになった。

1.8ksの場合、反応相の種類が破断の状況影響することを明らかにしたが、このように接合時間によって反応相の種類に差異が生じないためか破断の状況は図5のとおり1.8ksと同様であった。す

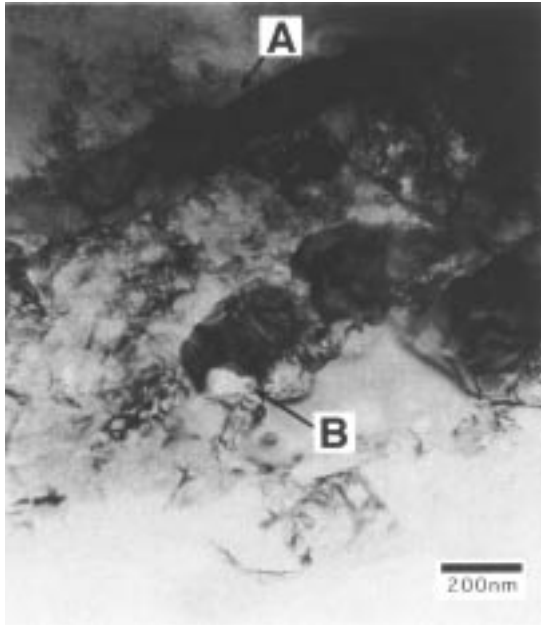


図3 TEM明視野像

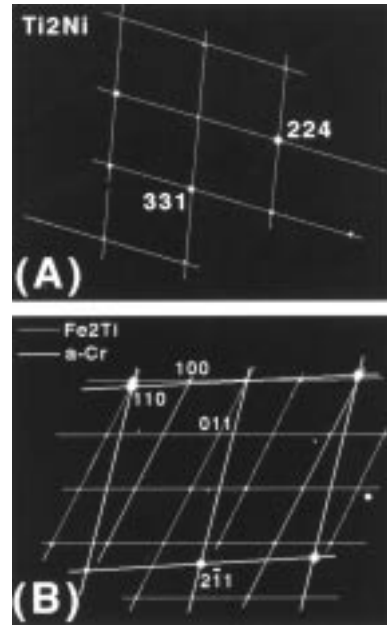


図4 電子線回折の結果

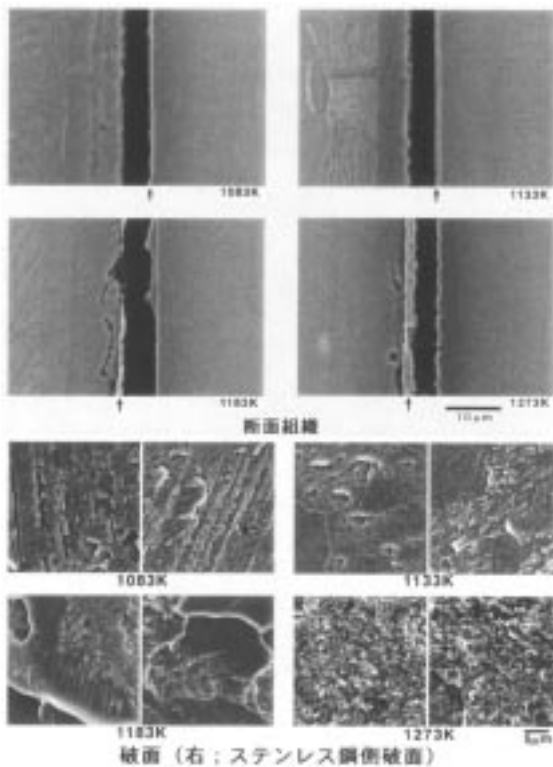


図5 破断の状況

なわち1133K以下では $\beta$  Tiに接して形成される $Ti_2Ni$ が一部は $\beta$  Tiと分離するものの主には $FeTi$ と分離しやすく、破面もこれらの相間の分離破断を反映して1.8ksと同様に平坦であった。また、1183K以上でこの相が形成されなくなると破壊の起点は $Fe_2Ti$ 相に移行した。

このように接合時間によって破断様式は変化しなかったことから、接合強度は界面反応相に大きく影響されるといえる。例えば $Ti_2Ni$ と $FeTi$ のような金属間化合物相互の分離は、 $\beta$  Tiのような金属と $FeTi$ のような金属間化合物相との分離よりも低い強度で起きると思われる。

接合温度が増加すると $Ti_2Ni$ は減少・消滅するが他の化合物相は成長する。1.8ksのTEM観察によると1183K以下では金属的性質を持つ $a$ -Crが $Fe_2Ti$ 相と共存し、その割合は接合温度の上昇とともに減少するようであった。すなわち接合温度が上昇することで金属間化合物 $Fe_2Ti$ の量が増加する。Laves相の一種である $Fe_2Ti$ は界面に存在する他の化合物相に比べて非常に脆弱で、破壊の起点となりやすい。このため、1183Kでは他の相と分離破壊を起こしやすい $Ti_2Ni$ が形成されないものの、 $Fe_2Ti$ が接合部の強度を低下させるといえる。

このように、 $Ti_2Ni$ と $Fe_2Ti$ はともに接合部の強度を低下させることが明らかである。ただ以上の結果だけからは接合時間が1.8ksと180sにおいて、それぞれ1083Kと1133Kで最高強度が得られることを十分に説明できない。そこで機会があれば他の温度、特に1183K、の接合部の詳細なTEM構造解析を試みたい。

### 3. まとめ

- (1) 純チタンと304ステンレス鋼の拡散接合をおこなったところ、接合時間が短い方が高強度の接合部が得られることを明らかにできた。
- (2) チタン母材の強度が接合部の最高強度に影響を及ぼすことを明らかにできた。
- (3) 界面に形成される反応相の種類には接合時間は影響しないことを明らかにできた。
- (4) 接合部の破断の様式は反応相の種類、とりわけ $Ti_2Ni$ ,  $Fe_2Ti$ に影響されるようであった。

### 謝辞

TEM観察は大阪大学接合科学研究所助手の高橋誠さんの薄膜作りからの多大なご協力によって可能となりました。深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 伊藤雅章, 木村赫雄, 家城悌, 小谷啓子, 圓城敏男, 池内建二: "チタンと304ステンレス鋼の拡散接合部における接合界面反応層". 溶接学会溶接冶金研究委員会資料WM-1382-91 (1991)
- 2) 伊藤雅章, 増井孝実, 家城悌, 池内建二, 牛尾誠夫: "イオンプレーティングを利用した拡散接合". 溶接学会第30回界面接合委員会資料IJ-24-92 (1992)
- 3) 伊藤雅章, 池内建二: "複層インサート金属による界面反応の制御". 溶接協会貴金属ロウ部会先端材料接合委員会資料BI-150-94 (1994)
- 4) 瀬戸佐智夫, 大脇圭, 小口徹, 入沢敏夫: "異種金属の短時間接合に関する研究". 溶接学会論文集, 第10巻, 第2号, p246-251 (1992)
- 5) 大橋 修, 穎娃一夫, 入江宏定: "SUS304Lステンレス鋼とチタンとの拡散接合". 溶接学会論文集, 第13巻, 第3号, p390-394 (1995)