

研究ノート

拡散溶接による 異種金属継手の高温劣化

圓 城 敏 男*

I. はじめに

拡散溶接法とは、母材を溶融することなく、塑性変形を殆ど生じない程度の圧力と熱を加えることにより、接合界面で生じる原子の熱活性化拡散を利用して、固相状態で母材を接合する溶接法である。この溶接方法は、高融点金属、耐熱合金、活性金属、分散強化型合金などの接合をはじめ、異種金属間および金属とセラミックス間の接合のように、溶融溶接の困難な場合に適用されることが多い。

近年、原子力開発、宇宙開発などの大型産業から、エレクトロニクスなどの精密産業にいたるまで、あらゆる分野における材料の研究と開発にはめざましいものがある。これら材料は、高温、高压、腐食性雰囲気、放射線照射下など種々の過酷な条件の下で、極めて高度の信頼性をもって使用に耐えねばならない場合が多い。拡散溶接法は、材料特性の劣化が少なく、寸法精度もよい最も優れた溶接方法の一つである。

しかし、拡散溶接法により接合した異種金属間の継手を高温で長時間使用した場合、接合界面近傍での原子の拡散により、継手性能が劣化する場合が多い。すなわち、両金属が全率固溶体を形成する場合には、カーケンダール効果によるボイドの生成により劣化する。両金属が金属間化合物や規則格子をつくる場合には、接合界面近くに生ずるこれらの層の成長により、継手性能が劣化する。劣化の原因としては、他に種々のものがある。例えば、溶接直後には母材破断をするチタンとアルミニウムとの拡散溶接継手¹⁾を、高温で使用した場合、金属間化合物

層とアルミニウムとの境界にアルミニウムの酸化物層が形成され、これにより継手性能の劣化が生ずる。

II. 高温劣化の例

金属間化合物層の成長により、継手強さの劣化を生ずる層の幅の大きさは、異種金属それぞれの母材の強さおよび金属間化合物の強さにより決まるもので一定ではない。たとえば、チタンとアルミニウムとの継手の場合には、接合界面に Al_3Ti が形成されるが、この金属間化合物層の幅が $10\ \mu m$ まで成長しても、なお引張試験においてアルミニウム母材で破断を生ずる¹⁾。一方、モリブデンとハステロイ X との継手の場合には、接合境界に P 相が形成されるが、この金属間化合物層は約 $1\ \mu m$ ですでに相当顕著な劣化の原因となる²⁾。ある異種金属間の溶接継手の強さが、劣化を示しはじめる金属間化合物層の幅は実験的に求めることが出来る。また、この金属間化合物層の成長の速さは、ある熱活性化機構により律速されていると考えられるので、層成長の見掛けの活性化エネルギーを求めておけば、種々の温度における使用限度時間を求めることが出来る。

異種金属が互いに全率固溶体を形成する場合には、カーケンダール効果によりボイドを生ずる場合がある。写真 1 に、銅とニッケルとの継手を $923\ K$ で $377\ ks$ 保持した場合に生じたボイドを示す³⁾。接合界面近くに生じたこのようなボイドの生成が、継手強さを劣化させることは容易に理解出来る。このボイドの生成および成長速度もある熱活性化機構により律速されるものと考えられる。したがって、各異種金属間の溶接継手の強さの劣化を示しはじめるボイドの量を実験的に求めておけば、金属間化合物層

* 圓城敏男 (Toshio ENJO), 大阪大学, 溶接工学研究所, 大阪大学教授・溶接工学研究所長, 工学博士, 溶接用金属材料

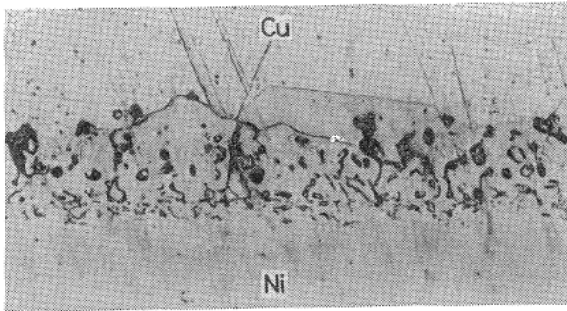


写真1 銅とニッケルとの拡散溶接継手を923 Kで377 K S保持した場合に生ずるカーケンダール効果によるボイド

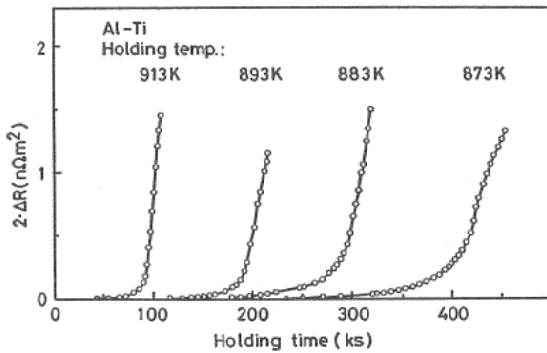


図1 チタンとアルミニウムとの拡散溶接継手を、873～913Kの各温度で保持した場合の接合界面を横切る電気抵抗変化と保持時間との関係

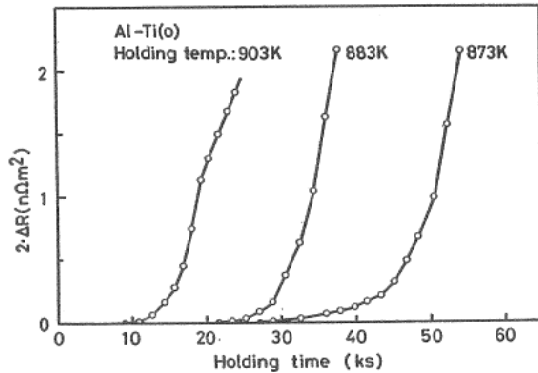


図2 チタンとアルミニウムとの拡散溶接継手を873～903Kの各温度で保持した場合の接合界面を横切る電気抵抗変化と保持時間との関係

の場合と同様、見掛けの活性化エネルギーより各温度における使用許容時間を求めることが出来る。

母材破断をするチタン（酸素濃度 8.3×10^2 ppm）とアルミニウムとの拡散溶接継手を真空中で873～913Kに保持した場合の接合界面を横切る電気抵抗の値と保持時間との関係を図1に示す。電気抵抗値はある潜伏期間の後、保持時間の増加と共に急速に増加する。なお、この潜

伏期間は保持温度の上昇と共に短くなる。このような電気抵抗値の増加と共に、継手強さは低下し、接合部で破断するようになる。同様の実験を固溶酸素濃度を高温酸化法により約 10^5 ppmに増加したチタンを母材に用いて行った場合の実験結果を図2に示す。図1および図2より、高温保持による接合界面を横切る電気抵抗値の増加は、チタン母材中の固溶酸素濃度の上昇によって著しく加速されることが明らかである。図1および図2に示した電気抵抗の増加過程の見掛けの活性化エネルギーを求めると、それぞれ230 KJ/mol および215 KJ/molとなる。これらの値は、チタンとアルミニウムの2元系の相互拡散の活性化エネルギーとして報告されている値よりも遥かに大きく、むしろチタンと酸素の2元素の相互拡散エネルギー 205 KJ/molに近い。これらの結果より、チタンとアルミニウムとの継手の高温保持による上記電気抵抗の増加は、チタン中の固溶酸素の拡散によるものと考えられる。さらに、走査型電子顕微鏡により破断面を観察するとともに、継手部の従断面を顕微鏡により金属組織観察を行った。これらすべての結果より、チタンとアルミニウムとの継手を高温保持した場合、接合界面の電気抵抗の増加および継手強さの低下を生ずるのは、チタン母材中から拡散によって供給される酸素により、金属間化合物層 (Al_3Ti) とアルミニウムとの境界に酸化物層が形成されることに起因するものと考えられる。この場合も既述の見掛けの活性化エネルギーの値より、各温度における使用許容時間を知ることが出来る。

以上のごとく、拡散溶接による優れた異種金属間の継手性能も、種々の原因により高温使用中に劣化する場合が多い。したがって異種金属間継手の高温使用にあたっては常に十分の注意が必要である。

参考文献

- 1) 圓城, 池内, 金井, 丸山; チタンとアルミニウムとの拡散溶接; 溶接学会誌 Vol. 46 (1977) No. 2 P. 82—89.
- 2) 圓城, 大内, 那須, 池内, 荒田; 純モリブデンと耐熱合金ハステロイXとの拡散溶接; 溶接学会誌 Vol. 46 (1977) No. 9 P. 660—665.
- 3) 圓城, 池内, 秋川; 銅とニッケルとの拡散溶接に対する電気抵抗測定による研究; 日本金属学会昭和56年秋期大会講演概要集.
- 4) 圓城, 池内, 秋川; チタンとアルミニウムとの拡散溶接による継手の高温使用中における継手性能の低下; Vol. 50 (1981) No. 10.