

AZ31 マグネシウム合金の TIG 溶接継手のクリープ特性

金子 純一 (機械工学科)

1. 研究の背景と目的

高温環境下における構造物の設計において、材料のクリープ特性を把握することは不可欠であるが、鉄鋼材料やアルミニウム合金に比べて、構造用マグネシウム合金のクリープ特性データの蓄積は不十分で、とくにクリープ破断データの不足が指摘されている。マグネシウムはアルミニウムとほぼ同じ融点でありながら、110-120°Cと低い温度域からクリープ変形を始めるなど、高温強度において問題点を有することが知られている[1]。また、溶接継手のクリープ特性に関しては、耐熱鋼やステンレス鋼などをはじめとする高温用構造材料について検討されている[2,3]。これらの報告によると、溶接金属部、熱影響部のように母材と異なる組織から構成されている溶接継手のクリープ変形特性は、母材とは異なることが明らかにされている。また、アルミニウムについては、5083 合金の MIG 溶接継手のクリープ特性が報告されている[4]。しかしながら、マグネシウム合金の溶接継手のクリープ特性についてはほとんど報告例がない。

本研究は、代表的な溶接構造用マグネシウム材料の一つである AZ31 合金厚板材の大電流 TIG 溶接継手を対象として、高温において一定荷重の引張クリープ試験を行い、溶接継手のクリープ変形特性およびクリープ破断特性を明らかにすることを目的としている。また、室温から高温域までの引張試験を併せて行い、引張特性とクリープ特性を比較検討した。

2. 実験方法

本研究で使用した母材は厚さ 20mm の AZ31-O マグネシウム合金圧延板材で、直径 6mm の AZ31 合金溶加材を用いて X 形開先の突合せ溶接を両面各 3 層 4 パスで行った。溶接速度は 12~22cm/min の間で変化させ、250~300A の溶接電流で TIG 溶接を行った。溶接方向は母材の圧延方向に対して直角方向とした。溶接施工は熟練者が実施したもので、すべて X 線透過試験により溶接欠陥のないことを確認した溶接継手試料を実験に供した。

得られた溶接継手から、丸棒形状のクリープ試験片と引張試験片を採取した。クリープ試験片は平行部直径 10mm で長さ 50mm、引張試験片は平行部直径 5mm で標点間距離 25mm のものを用いた。いずれも溶接部が平行部中央になるように採取した。クリープ試験は、423, 473, 523, 573K において、初期応力 6.24~93.6 MPa の範囲で行った。同一条件下で 3 本の試験を行い、中央値を示した試験片のデータを試験データとした。引張試験は、各クリープ試験温度のほか室温においても行い、3 本の試験の平均値を実験データとした。引張速度はいずれの温度においても 3mm/min 一定とした。高温引張試験では、試験片が試験温度に達した後 0.3 ks 間保持してから試験を開始した。なお、比較のため、母材から採取した試験片についても平行してクリープ試験と引張試験を行っている。また、試料の組織観察や硬さ測定を必要に応じて行った。

3. 実験結果

3.1 溶接継手の組織、硬さおよび引張特性

溶接継手は、JIS Z 3105 の放射線試験法にしたがって検査した結果、いずれも最上位の第 1 類の等級分類と判定され、溶接欠陥のないことが確認された。溶接継手断面の組織を図 1 に示す。X 開先の片面 3 層 4 パスの溶接に対応する組織が明瞭に認められるが、ビード幅は溶接表面で 28mm、中心層で 10mm 程度となっている。溶接継手の硬さ分布の測定結果を図 2 に示す。母材、熱影響部、溶接金属部における組織には違いが認められたが、硬さにはほとんど差が認められず、平均 51HV の硬さ値をすべて示していた。母材は O 材で、しかも母材と同じ溶加材を用いているためと考えられる。

各試験温度における溶接継手および母材の引張強さを図 3 に、伸びを図 4 に示す。当然のことながら、試験温度の上昇とともに引張強さは低下している。室温では母材と溶接継手は同等の引張強さと伸びを示しており、健全な溶接継手であることを示している。引張強さは、常温から 573K まで母材と全く同等であるが、

伸びは 523K 以上では溶接継手は母材より低い値となった。なお、溶接継手の引張破断位置は、試験片によってまちまちで、母材部、熱影響部、溶接部のすべてで起こりえた。

3.2 クリープ特性

すべてのクリープ試験条件において、母材と溶接継手のクリープ破断時間およびクリープ破断ひずみに差が認められ、継手は耐クリープ性において母材より劣っていた。クリープ曲線の代表例として、423K において初期クリープ応力 93.65MPa の場合を図 5 に、573K で 24.97MPa の場合を図 6 に示す。いずれの場合も溶接継手の定常クリープ速度が母材に比べて速くはなっているがその差は比較的小さい。それに比べて、クリープ破断ひずみとクリープ破断時間には大きな差が認められる。溶接継手は加速クリープの段階がほとんど認められず、くびれを伴わないでクリープ破断していることがわかる。これに対して母材では明瞭な加速クリープ段階が認められる。溶接継手の場合の破断はすべて溶接金属部で起こっていた。溶接金属部でくびれを伴わずにクリープ破断することが、溶接継手の低いクリープ破断伸びと短いクリープ破断時間を与えていることがわかった。

母材と溶接継手について、各温度における定常クリープ速度をクリープ応力に対して示したのが図 7 である。これより、ほとんどすべての条件下で、溶接継手は母材より高い定常クリープ速度を示していることがわかる。同様に、クリープ破断時間をクリープ応力に対して示したのが図 8 で、両者に明瞭な差が認められ、すべてのクリープ条件下で溶接継手が母材より短いクリープ破断時間を示すことがわかる。

4. 考 察

高温引張試験において、引張強さは母材と溶接継手はほぼ同等であったが、伸びでは 523K 以上で差を生じており、溶接継手の伸びが低くなっていた。このことに対応して、クリープ試験においては定常クリープ速度では差が小さかったが、クリープ破断伸びとクリープ破断時間において溶接継手が母材を大きく下回った。しかも、引張試験に比べて、クリープ試験における両者の相異はより強調されて現れた。このことは、引張試験をさらに遅い引張速度で行えば両者の差は増大することを示唆している。いずれにせよ、溶接継手のクリープ破断伸びとクリープ破断時間は母材よりかなり低いことは、マグネシウム合金の溶接構造物を高温域で使用する際に注意すべき重要な知見である。

5. 結 論

- (1) 溶接継手の引張強さは、常温から 573K までは母材とほぼ同等であったが、伸びは 473K 以下では同等であったが、523K 以上では母材より低い値を示した。
- (2) 定常クリープ速度から評価した溶接継手のクリープ変形抵抗は母材よりわずかに低い程度にとどまった。しかし、クリープ破断伸びとクリープ破断時間は母材よりかなり低い値を示し、クリープ破断は溶接金属部で起こった。
- (3) 溶接継手のクリープ破断伸びとクリープ破断時間は母材よりかなり低いことは、マグネシウム合金の溶接構造物を高温域で使用する際に注意すべき重要な知見と考えられる。

参考文献

- [1] たとえば、I.J.Polmear: Light Alloys, Third edition, Arnold, (1995), 217.
- [2] 橋本昌光, 小山輝夫, 佐藤 恭, 田村広治: 材料, 44(1995), 11.
- [3] 本郷宏通, 山崎政義, 渡部 隆, 衣川純一, 門馬義雄: 材料, 45(1996), 1328.
- [4] 井上 誠, 大久保通則, 菅又 信, 金子純一, 松本二郎, 野口義夫: 軽金属, 48(1998), 479.

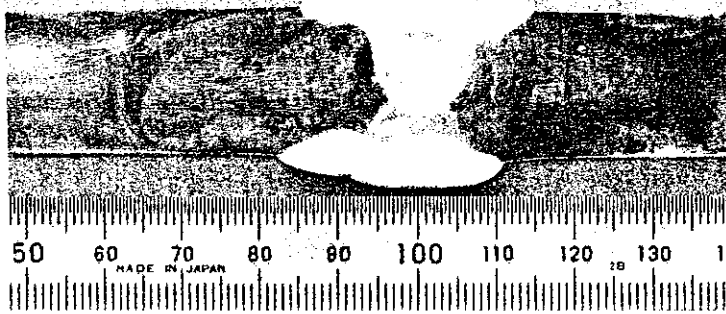


図1：AZ31合金溶接継手の組織

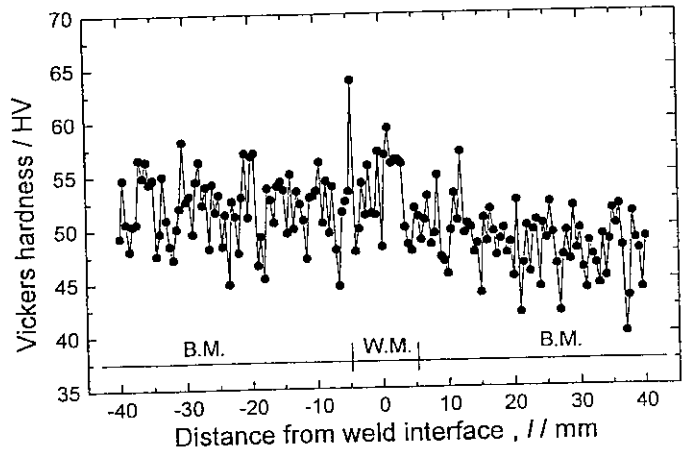


図2：AZ31合金溶接継手の硬さ分布

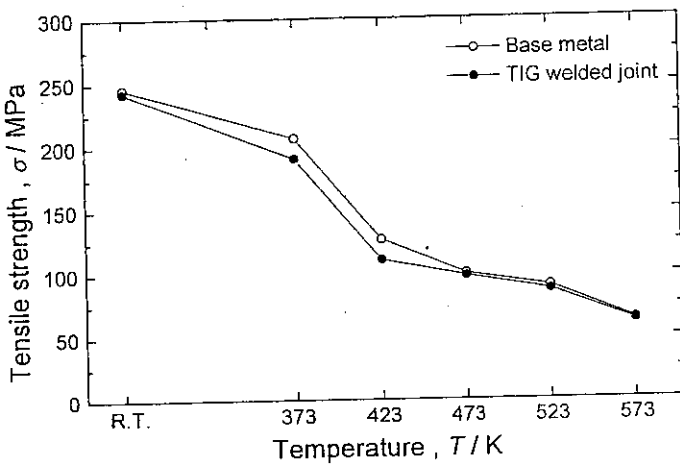


図3：各温度における母材と溶接継手の引張強さ

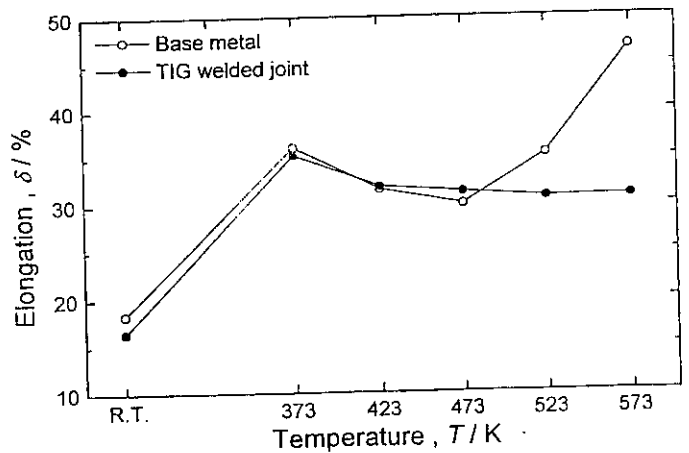


図4：各温度における母材と溶接継手の伸び

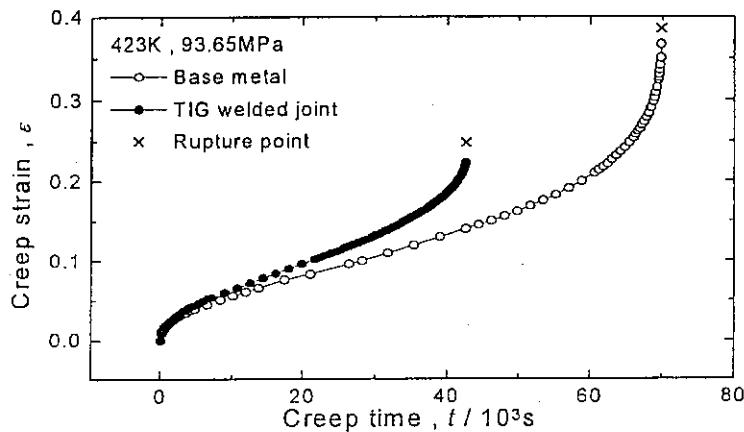


図5：母材と溶接継手のクリープ曲線 (423K, 93.6MPa)

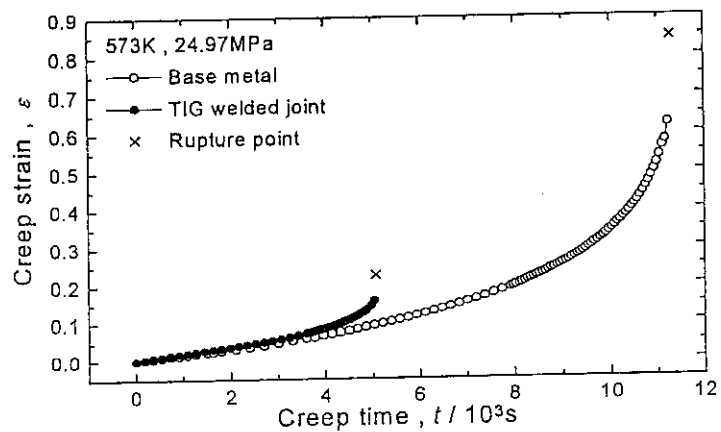


図6：母材と溶接継手のクリープ曲線 (573K, 25.0MPa)

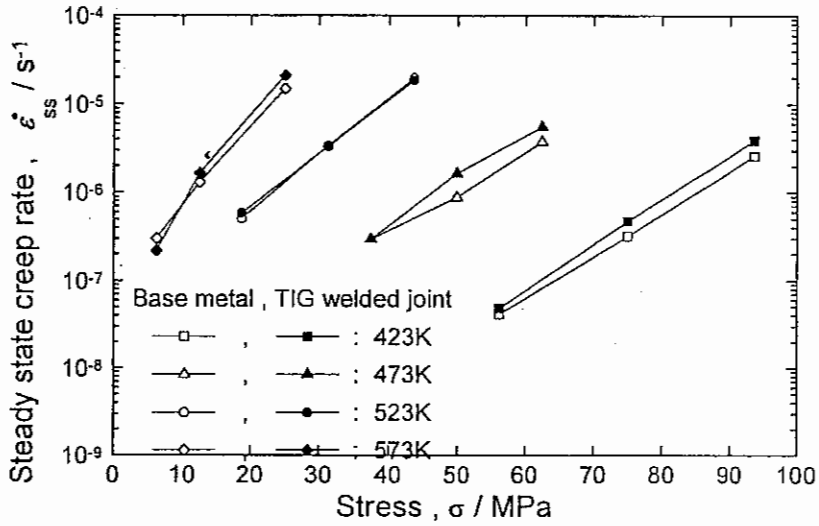


図7：各クリープ条件での母材と溶接継手の定常クリープ速度とクリープ応力の両対数プロット

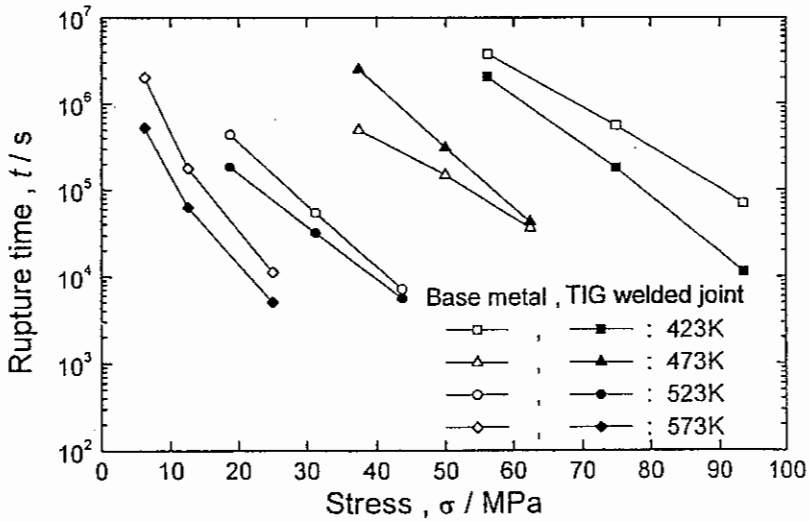


図8：各クリープ条件での母材と溶接継手のクリープ破断時間とクリープ応力の両対数プロット