

ZK61 マグネシウム合金板の高温域における引張特性とその成形性

日大生産工(院) 黒沼 慎平

日大生産工 菅又 信

1. 緒言

密度が実用金属の中で最も小さいマグネシウム材料は比強度および比剛性に優れることから機器類の軽量化対策において注目されている。またマグネシウム合金は資源再利用の点で有利であり、省エネルギー化を通じて地球環境問題の解決に貢献する材料として期待されている。しかし、常温での成形性に劣るため、薄板材からのプレス加工による成形品は少ない。これは、マグネシウムの結晶構造が最密六方晶であり、常温でのすべり系が底面すべりに限定されるためである。473K 以上に加熱すると非底面すべり系も活動して変形が容易になる。したがって、プレス加工による実用例の多くは比較的延性の高い AZ31 合金板の温間加工によって製造されている。AZ31 合金板の高温域における性質は詳しく調べられているが、他のマグネシウム材料の加熱下での性質の報告は少ない。

本研究では、強度と塑性加工性に優れる Mg-Zn-Zr 系合金の ZK61 合金板を選び、高温域におけるその引張特性値と成形性を明らかにすることを目的とした。ZK61 合金は鑄造用合金に分類されているが、本研究で用いた合金は、Zr 量が展伸用材料の ZK60 合金に近い組成である。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材は板厚 0.8mm の ZK61 マグネシウ

ム合金圧延板(権田金属工業(株))である。合金の化学組成は、Zn(4.74%)、Zr(0.64%)、Mn(0.01%)であり、圧延後に焼きなまし処理した O 材である。

2.1 結晶組織の観察

ZK61 合金板の引張試験前後の板表面の光学顕微鏡組織を観察した。試験片は樹脂に埋め込み、エメリー紙で#2000 まで研磨して、バフ研磨で鏡面を仕上げ、ピクリン酸-メチルアルコール溶液(ピクリン酸-3g, 蒸留水-20ml, エタノール-20ml, 酢酸-2ml)によるエッチング処理を施して光学顕微鏡によって観察した。平均結晶粒径はチンマー法により求めた。

2.2 引張試験

ZK61 合金板より圧延方向に対して 0° 、 45° 、 90° の 3 方向から引張試験片を採取した。試験片形状は標点間距離を 30mm とし、幅を 12.5mm とした。試験温度は室温、373K、473K、573K、623K である。なお、引張速度は 3mm/min 一定とし、それぞれ 3 本の平均値より引張強さ、伸び、 n 値(加工硬化指数)、 r 値(塑性ひずみ比)を求めた。

2.3 エリクセン試験

試験片は 75mm の円形ブランクであり、3 枚の平均値をエリクセン値として張出し性を調べた。後述のコニカルカップ試験および伸びフランジ試験を含めて、試験温度は 373K、473K、573K、623K とした。いずれの試験においても試験工具を電気炉内にセットして、工具と試験片を均一温度に加熱して、それぞ

Mechanical properties and formability of ZK61magnesium alloy sheets
at high temperatures

Shimpei KURONUMA and Makoto SUGAMATA

れの成形性を評価した。ポンチは油圧で押し込み、いずれも押し込み速度は 3mm/min である。電気炉内に試験工具をセットしていることから、いずれの試験においてもポンチ荷重をロードセルで検出して、荷重のわずかな変化から試験片の割れを検出して成形限界を求めた。20mm の半球頭ポンチとブランク間は厚さ 0.1mm の PTFE シートで潤滑した。他の成形試験でも潤滑には同様の PTFE シートを用いた。

2.4 コニカルカップ試験

複合成形性をコニカルカップ試験で評価した。試験工具およびブランク径は JIS の軟鋼板のコニカルカップ試験に準じており、テーパ形状のダイスとポンチ先端半径が 17.46mm の半球頭ポンチである。旋盤加工による 50mm の円形ブランクを試験片とし、3 枚の平均値を求めた。カップの張出し部で破断した試験片の外径がコニカルカップ値であるが、本研究では初期ブランク径 D_0 (50mm) と試験後のカップ直径 D の比を絞り比とした。

2.5 伸びフランジ試験

90mm の円形ブランクの中心に 10mm をドリルで下穴をあけた後、穴面の粗さによる割れ発生への影響を少なくするためリーマ仕上げした。変形した穴径を圧延方向に対して、 0° 、 45° 、 90° で測定し、初期穴径 d (10mm) との比から穴広がり率を求めた。ポンチ先端形状は平頭、円錐の 2 種類とし、直径はいずれも 40mm である。なお平頭ポンチの肩部半径を R5、円錐ポンチの円錐角を 45° とした。

3. 実験結果

3.1 結晶組織

Fig.1 に ZK61 合金板の各試験温度における引張試験後の結晶粒組織を示す。写真において圧延方向は左右方向である。引張試験前

の結晶粒は、粒径が $20\mu\text{m}$ 程度の等軸粒である。Table 1 に引張試験後の平均結晶粒径を示す。引張試験温度が 373K、473K では、結晶粒が引張方向に伸びているのが観察され、373K では、多くの結晶粒内に変形双晶が確認された。573K では変形と同時に再結晶が起り、微細で等軸の結晶粒が認められる。623K では再結晶が完了して、623K では 573K よりも結晶粒が粗大化した。

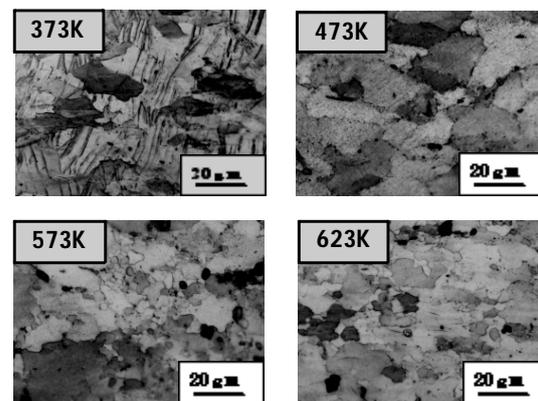


Fig.1 Optical micrographs of ZK61 alloy sheet

Table 1 Grain size of surface of tensile specimen

		Average grain size (μm)				
ZK61	R.T.	373K	473K	573K	623K	
		20.1	23.6	24.6	11.4	17.3

3.2 引張試験

3.2.1 引張強さ

Fig.2 に ZK61 合金板の室温、373K、473K、573K、623K における引張強さを示す。図中には、比較材である AZ31 合金板の 0° 方向の引っ張り強さを示す。試験温度の上昇に伴い、引張強さは低下していき 373K から 473K において 103MPa 近く強度が低下した。これは常温では底面すべりしか起こらないが、試験温度が高くなると非底面すべりが起きやすくなり、すべり系が増えることによって変形応力が低下するためである。ZK61 合金板の 0° 方向の引張強さは 284MPa であり、AZ31 合金板に比べて高強度である。373K および 473K においても ZK61 合金板の引張強さは AZ31 合金板に比

べて高いが、さらに高温ではその差が認められない。

3.2.2 引張伸び

Fig.3 に引張試験による伸びを示す。ZK61 合金板の伸びは 473K 以下の温度では、90° が他の方向に比べてやや低い傾向である。試験温度の上昇に伴い ZK61 合金板の伸びが上昇するが、AZ31 合金板と比較していずれの温度条件でも伸びが著しく低い。

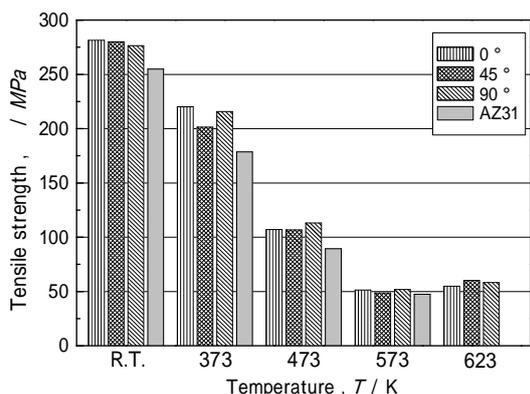


Fig.2 Tensile strengths of ZK61 alloy sheets at various temperatures

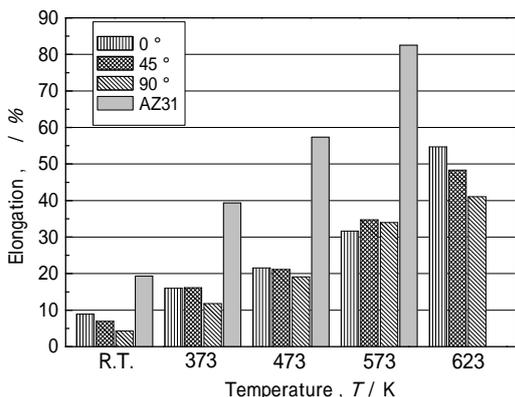


Fig.3 Elongation of ZK61 alloy sheets at various temperatures

3.3 張出し性

Fig.4 に ZK61 合金板の各試験温度におけるエリクセン値を示す。引張試験の伸びと同様に試験温度の上昇に伴いエリクセン値は上昇した。373K から 473K において急激に値が 1.7 倍以上に高くなった。

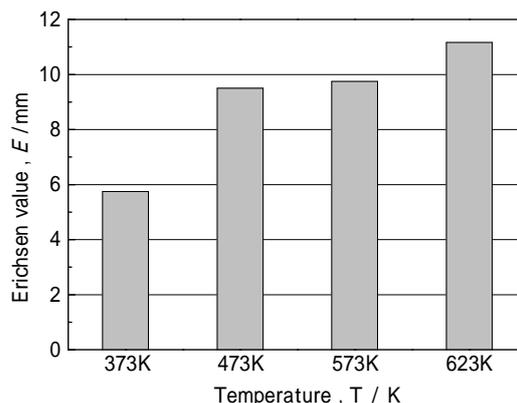


Fig.4 Erichsen value of ZK61 alloy sheet at various temperatures

3.4 絞り性

ZK61 合金板の各試験温度におけるコニカルカップ試験による絞り比を Fig.5 に示す。試験温度の上昇に伴って絞り比は上昇し、473K と 573K では 1.20 程度であり、623K では最も高い 1.25 の絞り比を示した。図中に比較材として示した AZ31 合金に比べると、ZK61 合金板の絞り性は全ての温度に於いて AZ31 合金板より劣る。

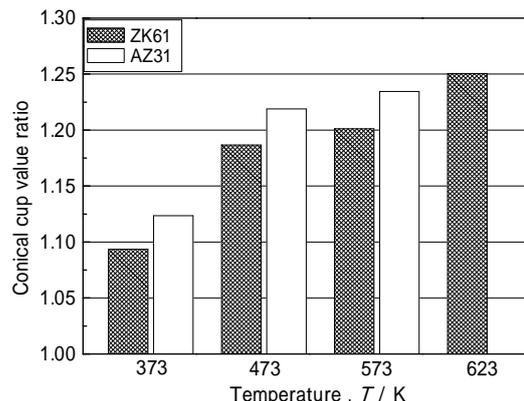


Fig.5 Drawing ratio of ZK61 alloy sheet at various

3.5 伸びフランジ性

2 種類の形状のポンチによる各試験温度における ZK61 合金板の限界穴広がり率を Fig.6 に示す。いずれのポンチにおいても試験温度の上昇に伴い、限界穴広がり率は増加した。ポンチ形状による限界穴広がり率の影響

響を見ると、円錐ポンチによる穴広がり率が、いずれの試験温度においても平頭ポンチに比べて高い。これは円錐ポンチの形状が穴を広げようとする力を作用させるためである。

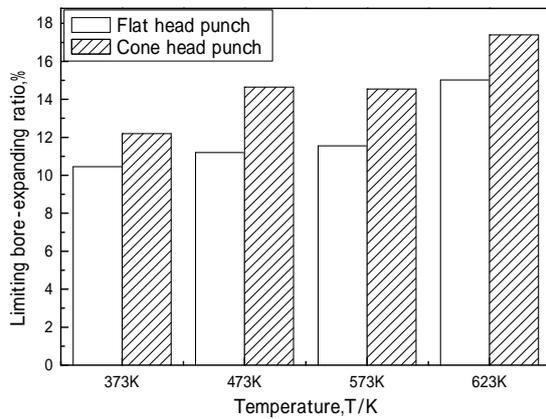


Fig.6 Limiting bore-expanding ratio of ZK61 alloy sheet at various

4. 結言

- 1) ZK61 合金板の高温引張において、573K以上の高温では動的再結晶が起きて、初期結晶粒に比べて粒径が小さな等軸粒が観察された。
- 2) ZK61 合金板の引張強さは、成形用マグネシウム合金板として一般的に用いられているAZ31 合金板に比べて、高温においてもやや高いが、伸びは著しく低い。
- 3) 高温域では活動すべり系が増加するためZK61 合金板においても張出し性および絞り性が向上する。プレス成形性の向上には473K以上での加工が望ましい。なお、AZ31 合金に比べると絞り性が高温においてもやや劣る。
- 4) 穴広げ試験で評価した ZK61 合金板の伸びフランジ性は、試験温度が高くなるにつれて向上する。