

AZ31 マグネシウム合金板の Mn 添加量による成形性の変化

日大生産工(院) ○雄澤 悟
日大生産工 勝田 基嗣

1. 緒言

近年, AZ31 マグネシウム合金板は成形加工用としての利用頻度が拡大しつつあり, 研究も盛んに行われているが, 常温での成形性が悪く, 特に常温における塑性加工は難しい. さらに, 添加元素の規定量に幅があり, 中でも Mn の添加量は諸性質に影響を及ぼすことが明らかになっているにも関わらず, JIS において規定量 0.2%以上と上限が定められていない.

本研究では, Mn 添加量の異なる AZ31 マグネシウム合金鋳造材を圧延し, Mn の添加量の変化が, 機械的性質および成形性にいかなる影響を及ぼすか検討した.

2. 供試材および実験方法

本実験の供試材は ϕ 50mm の Mn 添加量の異なる AZ31 マグネシウム合金鋳造材を用いた. 化学組成を Table 1 に示す. これらの鋳造材に 723K-36h で均質化処理後, 機械加工を施し, 厚さを 30mm とした. その後, Table 2 に示す圧延工程にて熱間圧延を行い, 板材を作製した. 圧延は直径 150mm の 2 段ロール圧延機を使用し, ロール周速は 100mm/sec, ロールを加熱しないコールドロール法で行った. なお, 板厚はすべて 0.5mm とした. また, 作製した板材に対し, 焼きなましによる機械的性質および成形性の変化を検討するため 523K-3h, 623K-2h, 723K-1h の 3 条件にて焼きなましを施した後, 組織観察, 硬さ試験, 引張試験, 曲げ試験, 絞り試験, 集合組織観察を行った. また, すべての熱処理は酸化防止のためアルゴンガス雰囲気中にて行った.

組織観察は板表面にて行い, 結晶粒径をチンマー法にて算出した.

硬さ試験はマイクロビッカース試験機を用い, 試験荷重は 0.1kg(0.98N), 加圧時間は 15 秒とした.

Table 1 Chemical composition (mass%)

No.	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Mg
1	3.1	0.81	0.01	0.02	0.003	0.001	0.0004	Bal.
2	3.0	0.81	0.21	0.02	0.003	0.001	0.0005	Bal.
3	2.9	0.81	0.40	0.02	0.004	0.001	0.0005	Bal.
4	3.0	0.80	0.58	0.02	0.003	0.001	0.0004	Bal.

Table 2 Rolling process conditions

thickness(mm)		reduction(%)
30	→※ ¹	10
10	→※ ²	0.5※ ³
		30

※1・・・Intermediate annealing at 723K-2h

※2・・・Intermediate annealing at 723K-1h

※3・・・Final annealing at 523K-3h, 623K-2h and 723K-1h

引張試験は面内異方性を検討するため, 圧延方向に対して 0°, 45°, 90° の 3 方向から JIS 13B 号試験片を採取し, 室温にて試験速度 1.0 mm/min で行った. また, 同時に塑性特性値である r 値, n 値を求めた.

曲げ試験は 180 度押し曲げ法で行い, JIS に基づく方法で行った. 試験速度は 100mm/min とし, ポンチは下方向に 30mm 移動させるか試験片が破断するまで行った. また, 試験片は平行部幅 15mm の JIS 3 号試験片とし, 面内異方性を検討するため, 圧延方向に対して 0°, 45°, 90° と 3 種類を採取した. なお, 試験は無潤滑で行った.

絞り試験は ϕ 50~60 のブランクを作製し, 試験を行った. ポンチ直径 40mm, ダイス径 41.5mm, 絞り速度 2.3mm/sec, しわ押え力 0.8t(7.85kN) で限界絞り比 (LDR) を求めた. なお, 限界絞り比 (LDR) は絞り加工が可能であった最大試験片直径をポンチ直径で除した値である. 潤滑材にはカーボングリスを用い, ダイス表面およびブランクホルダー表面に塗布した.

集合組織観察は板の表面で行い, 底面 {0001} およ

び錐面{1011}の極点図を作成した．測定は26° から70° の範囲で行った．

3. 実験結果および考察

3.1 組織観察

Fig. 1 に各供試材のF材および723Kで焼きなましを施した板表面の組織写真を示す．F材，723K 焼きなまし材ともにMn添加量の増加にともないAl-Mn系化合物が多く晶出した．F材では結晶粒に大きな差は見られなかったが，粒内に双晶が多く見られた．また，焼きなましを施すことで組織は再結晶し，Mn添加量の増加とともに結晶粒は微細化する傾向を示した．

Fig. 2 に焼きなまし温度による結晶粒径の変化を示す．焼きなまし温度の上昇とともに結晶粒の成長が見られ，1材の723Kではその傾向が顕著に現れた．その他の供試材でも成長は見られたものの，Mn添加量の増加とともに結晶粒径は比較的抑制され，Mn添加の効果が見れた．

3.2 硬さ試験

Fig. 3 に焼きなまし温度による硬さの変化を示す．Mn添加量の増加とともに硬さの値は低下する傾向を示した．特にMn添加量の少ない1材では他の材料と比較して明らかに低い値を示した．また，焼きなまし温度の上昇とともに値は低下する傾向を示した．1材は焼きなまし温度523Kで大きく硬さの値が減少しており，623K以上では値の低下は緩和した．その他の材料は523Kから623Kにかけて大きな減少率を示した．また，Mn添加量の多い3，4材は比較的大きな減少率を示したことから，Mn添加量の増加により再結晶温度は高温側に移行したものと考えられる．

3.3 引張試験

Fig. 4 に焼きなまし温度による機械的性質の全方位平均値の変化を示す．全供試材で焼きなまし温度の上昇とともに引張強さ，0.2%耐力は低下する傾向を示した．また，供試材の比較では，1材から3材にかけて引張強さは上昇する傾向を示したが，4材で低い値を示した．これはMn添加量が増加するとともに，組織中に晶出するMn化合物の量が増加したためだと考えられる．伸びは圧延における残留ひずみの影響でF材は低く，焼きなましを施すことで高く現れ，さらに焼きなまし温度が上昇すると結晶粒は成長し，値は低下した．また，4材の引張強さおよび伸びの値

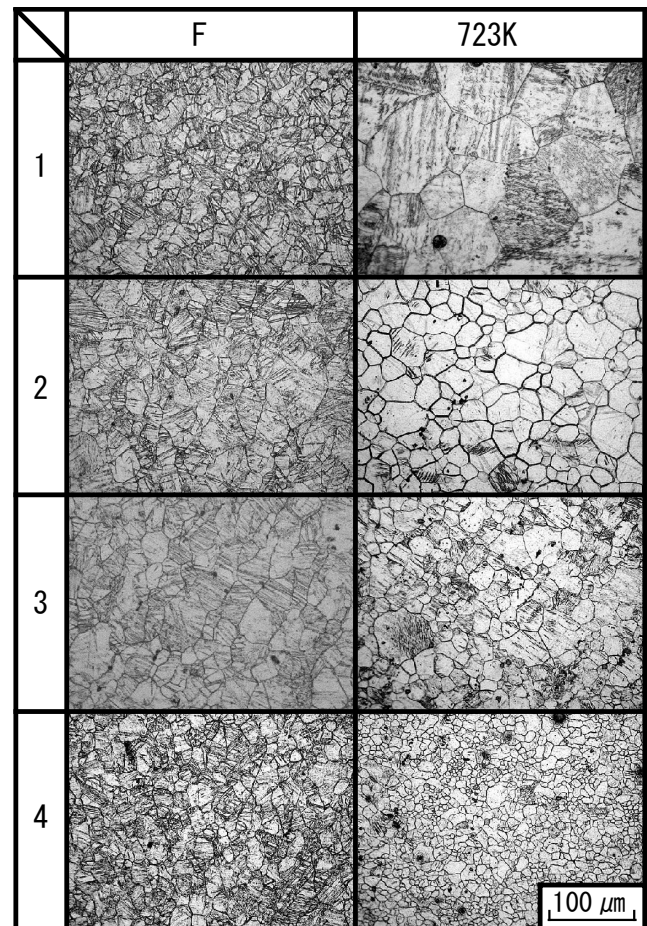


Fig.1 Changes in Microstructures with annealing temperatures.

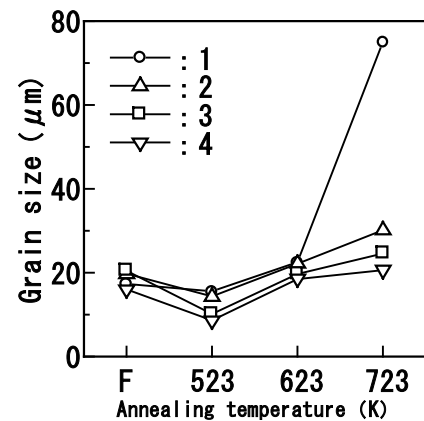


Fig.2 Changes in Grain sizes with annealing temperatures.

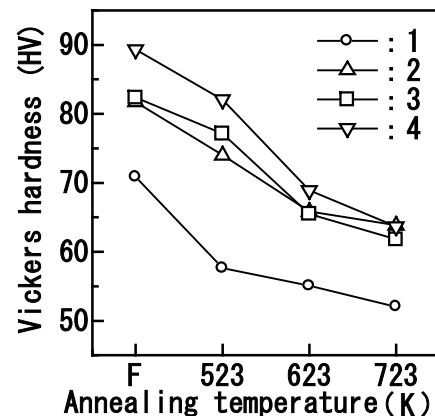


Fig.3 Changes in hardness with annealing temperatures.

が低くなった原因としては、圧延中に何らかの欠陥が生じたものではないかと考えられる。

Fig. 5 に焼きなまし温度による $\bar{r}$ 値の全方位平均値の変化を示す。わずかではあるが、焼きなまし温度の上昇とともに値は高くなる傾向を示した。供試材の比較では、Mn 添加量の増加にともない値は高くなった。Mn 添加量の低い 1 材においては、焼きなまし温度の上昇とともに、値が低くなる傾向を示した。

Fig. 6 に焼きなまし温度による $\bar{n}$ 値の全方位平均値の変化を示す。焼きなまし温度の上昇とともに 1 材の値は高くなる傾向を示した。逆に、3 材、4 材では低下する傾向を示し、温度の上昇とともに 1 材と 4 材の値の差は拡大した。供試材の比較では Mn 添加量の増加とともに、値は低下する傾向を示した。

3.4 曲げ試験

Table 3 に各供試材の曲げ試験の結果を示す。図中の○は曲げ成形が可能であったもの、△は微小な亀裂が確認できたもの、×は割れが発生している事を現している。焼きなましを施すことで、すべての供試材で曲げ性は向上し、R2 が可能であり、Mn 添加量の少ない 1 材以外の供試材では焼きなまし温度 723K で R1 において亀裂が確認できた。また、焼きなまし温度 523K において 1 材以外は 90° 方向で亀裂が発生した。同様に、焼きなまし温度 623K で 2 材は 45° 方向、90° 方向において亀裂が発生し、異方性が見られた。F 材においても同様の傾向が見られた。この結果から Mn を添加する事により、異方性が現れやすくなるものだと考えられる。

3.5 絞り試験

Fig. 7 に焼きなまし温度による LDR の変化を示す。Mn 添加量の少ない 1 材は焼きなまし温度の上昇とともに値が低下する傾向を示した。2 材は 623K において高い値を示し、LDR=1.45 であった。同様に 3 材も 623K で値は上昇した。4 材では値に変化は見られなかった。1 材は Mn 添加量が少ないため、他の供試材と比較して焼きなまし温度の上昇による結晶粒の成長が顕著に現れ、強度が低下したためだと考えられる。逆に Mn 添加量が多い 4 材では、Mn 化合物が多く存在し、結晶粒径は焼きなまし温度に左右されず、LDR は一定になったものだと考えられる。

3.6 集合組織観察

Fig. 8 に焼きなまし温度 523K による集合組織の底

面 {0001} および錐面 {1011} を示す。図は、圧延方向を上方としてある。一般にマグネシウム合金は、圧延加工を施すと底面が板面に平行になり、中心にピークが現れる。それに対し、全供試材の集合組織は中

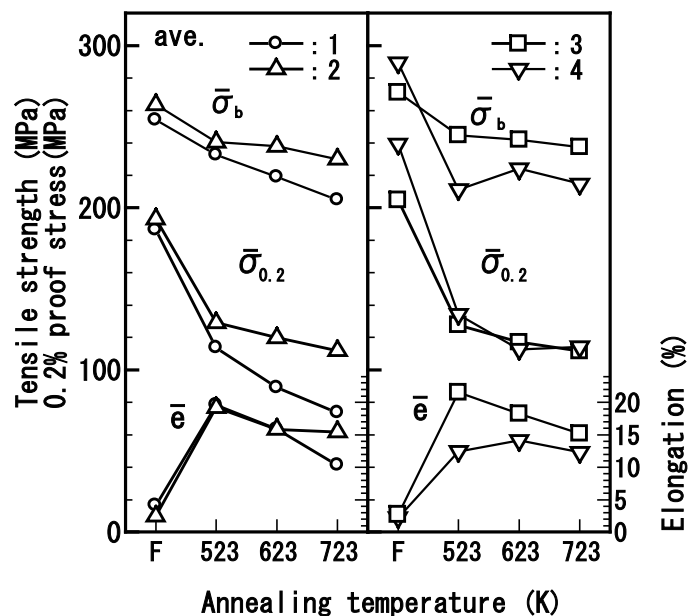


Fig.4 Changes in mechanical properties with annealing temperatures.

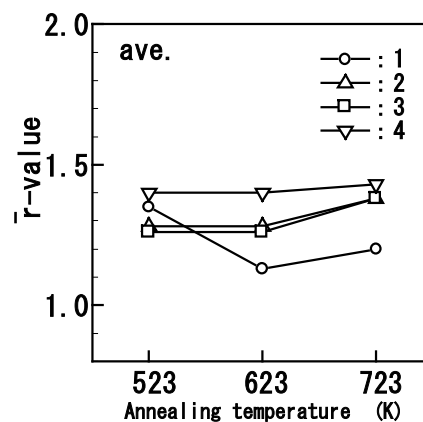


Fig.5 Changes in $\bar{r}$ -value with annealing temperatures.

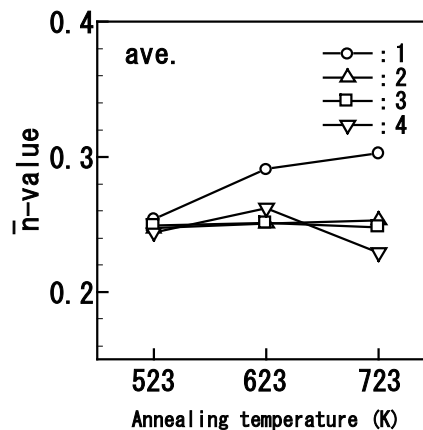


Fig.6 Changes in $\bar{n}$ -value with annealing temperatures.

Table 3 Bending evaluations by annealing temperatures

		1			2			3			4		
		R3	R2	R1	R3	R2	R1	R3	R2	R1	R3	R2	R1
F	0	△	×	×	○	△	×	○	△	×	○	○	×
	45	△	×	×	○	×	×	○	×	×	○	×	×
	90	△	×	×	○	×	×	○	×	×	○	×	×
523	0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○
	90	○	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	△
623	0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○
	90	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○
723	0	○	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	△
	45	○	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	△
	90	○	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	△

○:Success △:Crack ×:Destruction

心より圧延方向前後 2 極にピークが現れ、約 10° から 15° 程度ずれている。Mn 添加量の少ない 1 材は、他の供試材と比較して前後にはっきりとピークが現れており、すべり変形が ocorrência やすい集合組織となっている。このことより、絞り性において良好な結果が得られたものだと考えられる。また、圧延方向に縦長の集積を示すことで、圧延方向でのすべり変形能が高く、曲げ性における異方性はこの影響によるものだと考えられる。

4. 結言

1. Mn 添加量の少ない 1 材では 623K から 723K にかけて顕著な成長が見られたが、Mn 量が増加すると焼きなまし温度の上昇にともない、結晶粒は成長するものの穏やかな増加であった。
2. 引張強さ、0.2%耐力は Mn 添加量の増加にともない値が高くなり、焼きなまし温度の上昇とともに低下した。
3. 伸びは Mn 量 0.4%が 523K で高い値を示し、焼きなまし温度の上昇にともなって低下した。Mn 添加量 0.6%では 623K が高い値を示し、それ以上の温度では低下した。
4. r 値および n 値では Mn 添加の影響が見られた。r 値は Mn 添加量の増加にともない、値は高くなり、焼きなまし温度の上昇によっても高くなる傾向を示した。n 値は Mn 量の増加にともない値は低下し、焼きなまし温度の上昇とともに低くなり、r 値とは逆の相関を示した。
5. 曲げ性は、Mn 添加量が少ない 1 材は Mn 化合物による変形抵抗が少なく良好な結果が得られた。

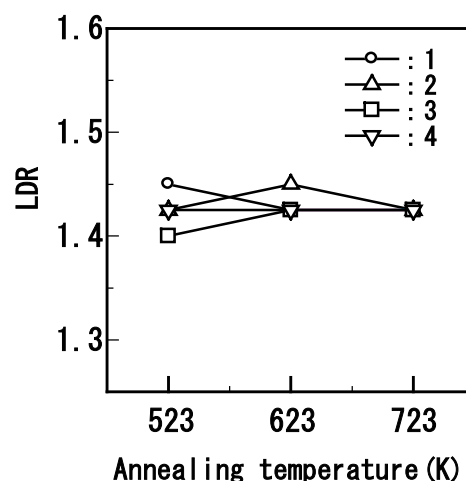
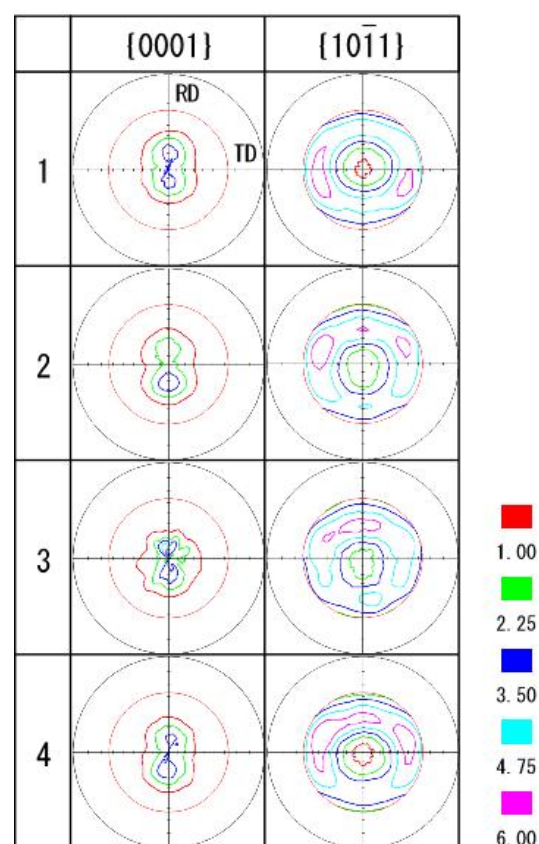


Fig.7 Changes in LDR with annealing

temperatures of the rolling sheets.

Fig.8 {0001} and {10 $\bar{1}1$ } pole figure of AZ31 magnesium alloy sheets (523K).

その他の Mn が添加された供試材は 0° 方向から 90° 方向に移行するとともに値は低下する傾向を示し、異方性が現れた。また、焼きなまし温度 623K が最も良好な値を示した。

6. 絞り性は、Mn 添加量 0~0.2%と少ない供試材において比較的良好的な値を示した。
7. 集合組織は強加工を行うことにより圧延方向に対し 2 極のピークが現れ、成形性を拡大した。