マグネシウム合金 AZ31 の 2 次再結晶成長粒が強度に及ぼす影響

森 久史¹ 野田雅史² 辻村太郎¹ 船見国男³ 東 健司⁴

¹財団法人鉄道総合技術研究所

²株式会社ジェイアール総研エンジニアリング

³千葉工業大学工学部

⁴大阪府立大学工学部

J. Japan Inst. Metals, Vol. 70, No. 6 (2006), pp. 521-523

© 2006 The Japan Institute of Metals

Effects of Coarse Grain by Secondary Recrystallization Growth for Strength on the Magnesium Alloy AZ31

Hisashi Mori¹, Masafumi Noda², Taro Tsujimura¹, Kunio Funami³ and Kenji Higashi⁴

¹Railway Technical Research Institute, Tokyo 185-8540

²JR Souken Engineering Corporation, Tokyo 185-8540

³Department of Engineering, Chiba Institute of Technology, Narashino 275-0016

⁴Department of Material Science, Osaka Prefecture University, Sakai 599-8531

Effects of grain growth due to treated by annealing after thermomechanical treatment on the tensile and fatigue strength in Magnesium alloy AZ31 were reported. It was found that coarse grain generated by secondary recrystallization and tensile and fatigue strength was decreased.

(Received January 16, 2006; Accepted April 17, 2006)

Keywords: magnesium alloy, grain growth, fatigue strength, fracture surface, crack growth rate

1. 緒 言

近年、マグネシウム合金では、加工性の改善に向けた一次加工方法として、ECAE(Equal Channel Angular Extrusion)および超塑性ブロー加工などの高温・高歪加工プロセス方法が検討されている^{1,2)}。ところで、高温・高加工プロセスは、原理的に動的再結晶機構を利用しているものであり、粒界すべり等の高温変形が発現することで、著しい延性が得られるとともに材料の金属組織が微細化することに特徴が見られる¹⁾。しかし、鉄道車両構体等への実用物に加工材を適用するにおいては溶接あるいは歪取焼鈍等の2次加工が必要であり、2次加工時に当素材は再加熱を受けることになる³⁾。高温・高歪加工材で得られた微細な結晶粒が2次加工時の再加熱によって2次再結晶化することで異常粒成長が生じ、その結果、強度の低下が認められるならば、構体使用等への材料設計において2次加工時の強度低下を見込んだ検討を行わなければならない。したがって、鉄道車両に高温・高歪加工下の条件で作成された板材を適用するために、微細材に対する再加熱が強度に及ぼす影響について調べておく必要がある。本研究ではマグネシウム合金 AZ31 の微細材並びに再加熱材を用いて引張試験と平面曲げ疲労試験を行

い、微細粒材への再加熱が引張強度並びに平面曲げ疲労強度に及ぼす影響を検討した。

2. 実 験 方 法

用いた供試材の化学成分を Table 1 に示す。試験に用いたマグネシウム合金は、汎用合金の Mg-Zn 合金(AZ31)である。微細粒への再加熱が強度に及ぼす影響を調べるために、高温圧延(以降 加工熱処理材とする)および高温圧延後の焼鈍処理材(以降 再加熱材とする)を用いて引張試験および平面曲げ疲労試験を行った。Fig. 1 に試験片の金属組織を示す。Fig. 1(a)は加工熱処理材であり、高温圧延(673 K, 圧下率 60%)で作成した。結晶粒は等軸であり微細粒の状態にある。一方、再加熱材は、Fig. 1(b)に示すように結晶粒の一部に異常粒が成長した状態にあり、高温圧延後に焼鈍(773 K×7.2 ks)を行って作成したものである。板材を車両構体素材として適用する場合には、素材加工後の歪取を目的として

Table 1 Chemical composition of specimens.

Element	Al	Zn	Mn	Fe	Ni	Mg
mass%	3.0	0.9	0.4	0.005	0.003	Bal.

焼鈍され、焼鈍は一次加工温度から 50~100 K 高い温度で行われる。このようなことから、本試験で用いた再加熱材の焼鈍温度条件は高温圧延を基準にして決定した。引張試験片および疲労試験片は上記で得られた素材から鋸断および精密切断機を用いて所定の形状並びに寸法に加工して得た。引張試験は、JIS 14 号比例試験片を用い、30 kN 容量の油圧サーボ型引張試験機(東京衡機製)を用いて行った。引張試験は室温、大気中で引張速度を 0.082 mm/s として行った。平面曲げ疲労試験は、Fig. 2 の形状および寸法の板状試験片を用いて行った。平面曲げ疲労試験は、容量 30 Nm の平面曲げ疲労試験機(東京衡機株式会社製)を用いた。疲労は室温、

大気中で行い、疲労試験条件は、応力形態が両振り曲げ、平均応力が 0 MPa、応力振幅が 30~100 MPa、周波数が 10 MHz である。引張および疲労試験後の破断試験片の破面観察は走査型電子顕微鏡(日本電子製)を用いて観察した。

3. 実験結果および考察

マグネシウム合金 AZ31 を高温圧延で加工熱処理した時には Fig. 1(a)のように結晶粒が微細化する。しかし、高温圧延後に焼鈍を行うことによって微細粒内の一部の結晶粒が 2 次再結晶化し、Table 2 に示すように引張強度と伸びの低下が認められた⁴⁾。引張破断面を調べた結果、加工熱処理材では破面上に Fig. 3(a)のようなディンプルが観察された。再加熱材の異常粒成長が認められない部分には Fig. 3(a)と同様のディンプルが見られたが(Fig. 3(b))、異常粒成長が認められる部分には粒界破壊が見られた(Fig. 3(c))。破面の

Fig. 1 Optical micrographs of microstructure in AZ31, (a) rolled and (b) rolled and heated.

Fig. 2 Schematic illustration of geometry and size of bending fatigue test specimen.

Table 2 Results of tensile tests.		
	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Rolled	310	10
Rolled and heated	170	6

Fig. 3 SEM micrographs of fracture surface after tensile tests, (a) rolled, (b) fine grain area of grain on rolled and heated and (c) coarse grain area of grain on rolled and heated.

Fig. 4 Relationship between stress amplitude and number of cycle to failure.

Fig. 5 Fracture surface after fatigue tests at $\Delta\sigma$ 110 MPa on (a) rolled and (b) rolled and heated, respectively.

形態から、微細粒では均一な変形が生じているが、粗大粒では粒界近傍に集積する転位量の増加にともなう応力集中により変形が不均一になると考えられる。このことから、粗大粒と微細粒の混粒組織材である再加熱材の強度が加工熱処理材よりも低下した理由として、粗大粒での変形の不均一化における応力集中が原因であったと考えられる。

一方、疲労強度もまた引張強度と同様に再加熱の影響を受

け、再加熱材の疲労強度は加工熱処理材よりも低下することがわかった。Fig. 4 に応力振幅と破断までの繰返し数 (S-N 曲線) を示す、再加熱材の S-N 曲線は加工熱処理材よりも、同一強度で比較すると破断までの寿命が短時間側にシフトしていることがわかる。Fig. 5 には疲労破壊後の破面を示すが、疲労破壊は擬へき開破壊であり、破面には加工熱処理材、再加熱材ともに粒内ファセットが認められる。加工熱処理材および再加熱材での異常粒成長が認められない部分での破面は Fig. 5 (a) に示すような微細なファセットが見られた。一方、再加熱材の異常粒成長が認められた部分では粒内ファセットが見られるが、ファセット径は大きいことがわかる (Fig. 5 (b))。破面観察より、破面上のファセットは定性的であるが、粒径寸法とほぼ対応する。疲労破面で見られるファセットは粒内での微小のすべり変形挙動で異なる。結晶粒が微細である場合には粒内に発生するすべり間隔が狭く、すべりは wavy になって亀裂の進展速度は低い。一方、結晶粒が粗大な場合には、すべり間隔が大きく、すべりが flat になって、亀裂の伝播速度が早くなると考えられる。このことから、再加熱材では粗大粒を含むために、加工熱処理材に比べると亀裂の進展速度の大きな部分を含むことから、疲労破壊が生じやすくなり、疲労強度が低下したと考えられる。これらのことから、マグネシウム合金 AZ31 においては、加工熱処理後の再加熱を行うと、引張および疲労強度が低下するが、それは 2 次再結晶によって成長した粗大粒が原因であると考えられる。

4. 結 言

本研究ではマグネシウム合金 AZ31 の微細材並びに再加熱材を用いて引張試験と平面曲げ疲労試験を行い、微細粒材への再加熱が引張強度並びに平面曲げ疲労強度に及ぼす影響を検討した。加工熱処理を受けて作成された素材の微細粒は再加熱により 2 次再結晶化して異常粒成長することがわかった。加工熱処理後に再加熱を行うと、異常粒成長が生じ、引張および疲労強度は低下することがわかった。このことから、部品として適用する際、歪取焼鈍に対する条件等について検討する必要があると考えられる。

文 献

- 1) Y. Chino and M. Mabuchi: J. JILM **51** (2001) 498–502.
- 2) H. Watanabe, T. Mukai, K. Ishikawa, Y. Okada, M. Takatsu and K. Higashi: J. JILM **49** (1999) 401–404.
- 3) Y. Sakai: Keikinzoku Yousetsu **43** (2005) 49–54.
- 4) T. Takekuni, Y. Otani and S. Watanabe: Bull. Inst. Metals **21** (1982) 589–596.