

金属系高比強度材料の開発に関する研究

－第3報，マグネシウム合金の衝撃特性の評価－

機械金属部 金属研究室

川上雄士，玉井富士夫

マグネシウムは，比重が 1.74g/cm^3 と実用金属としては最も軽く，合金化することにより強度が改善され構造材料，機械部品などとして利用されている．また，マグネシウムは資源としても世界的に豊富に存在しており，再溶解してリサイクルも可能なことから今後の伸長が期待されている．一方，成型加工性の面ではその結晶構造から鍛造やプレス of 塑性加工性に，大量生産でコストダウンをしてマグネシウム合金部品を広く普及させるためには大きな障害となっている．そこで，本研究ではマグネシウム合金部品の高速塑性加工の基礎データとするために，計装化シャルピー衝撃試験機を用い，動的破壊挙動を評価の指針として採用し，衝撃試験時の材料特性を調べた．その結果以下のことがわかった．

(1) 試験温度が高くなると衝撃吸収エネルギーが増す．(2) AZ31B 材においては，473K になると延性的に破壊が進んだと考えられる．(3) ZK60A 材は473K でも伸びは少なく，この温度域での高速塑性加工には問題があると思われる．

1. はじめに

軽くて強い高比強度材料は，航空・宇宙といった先端的産業を初め，スポーツ用品，福祉機器などの産業分野でのニーズが益々高まっている．なかでもマグネシウムは，比重が 1.74g/cm^3 と実用金属としては最も軽く，その絶対強度自体は低いもののアルミニウム/亜鉛などと合金化することにより強度が改善され構造材料，機械部品などとして利用されている．比強度での比較では鋼，アルミニウム合金などに比べ優れている．また，マグネシウムは資源としても世界的に豊富に存在しており，他の金属材料と同じように再溶解してリサイクルが可能なことから今後のマグネシウム製品の伸長が期待されている．一方，成型加工性の面ではその結晶構造から鍛造やプレス of 塑性加工性に劣る点は，大量生産によるコストダウンをしてマグネシウム合金部品を広く普及させるためには大きな障害となっている．

そこで，本研究ではマグネシウム合金部品の高速塑性加工の基礎データとするために，計装化シャルピー衝撃試験機を用い，動的な破壊挙動を評価の指針として採用し，最適な高速塑性加工条件を調べた．

2. 実験方法

2.1 供試材および試験片

実験に供した，マグネシウム合金材は展伸用マグネシウム合金で，比較的市場で入手しやすい ZK60A

(JIS マグネシウム合金 6 種相当)，AZ31B (JIS マグネシウム合金 1 種相当) を用いた．

計装化シャルピー衝撃試験にて供試するために，JIS Z 2202に規定された V ノッチ試験片に機械加工仕上げを行い試験に供した．

2.2 計装化シャルピー試験機による衝撃試験

シャルピー衝撃試験は金属材料の衝撃に対する靱性を調べる試験で，その規格は JIS B7722 (シャルピー振子式衝撃試験－試験機の検証) および JIS B7740 (シャルピー振子式衝撃試験－試験機の検証用標準試験片) として制定されている．また，昨今の国際整合化，規格統一化に伴い平成11年3月に JIS が改正されている．¹⁾

計装化シャルピー衝撃試験は，衝撃の負荷に用いられる衝撃刃に半導体歪みゲージを埋め込み動的荷重の検出を行い，パルスエンコーダー，ポテンシオメータを装備し振り子の角度検出，動的変位の検出を行っている．これらから得られたデータをコンピュータで解析を行い，衝撃吸収エネルギーだけでなく，靱性値や動的変形，破壊挙動などの様々なデータが得られる．²⁾ 本研究に用いた計装化シャルピー試験機は，JT トーシ製連立計装化シャルピー試験機 CAI-300/15/7.5-D-CPU で，得られる解析値には以下のようなものがある．

- ・ Ei (J) : 最大荷重点までのエネルギー量
- ・ Ep (J) : 最大荷重点以降のエネルギー量

- ・ P_y (N) : 降伏点荷重
- ・ P_p (N) : 亀裂発生点荷重
- ・ P_m (N) : 最大荷重
- ・ Δy (mm) : 降伏点荷重値までの変位量
- ・ Δp (mm) : 亀裂発生点荷重値までの変位量
- ・ Δm (mm) : 最大荷重値までの変位量
- ・ Δ_{max} (mm) : 荷重-変位曲線における全変位量

2. 3試験温度条件

マグネシウム合金は室温では最密六方晶の結晶構造を持ち塑性加工が難しく、温度の上昇とともに塑性変形が可能となる。その為一般には加工雰囲気や473K以上に加熱しての温間加工が行われている。³⁾ 本研究では、安価な高速の塑性加工を目指し試験片を室温(293K)から473Kまで加熱して試験を行った。加熱には、シリコンオイルバスを用いJIS Z 2242に従って高温下での試験を実施した。

3. 結果及び考察

3. 1衝撃吸収エネルギー

試験温度を変えて、衝撃試験を行ったときの衝撃吸収エネルギーの変化をAZ31B, ZK60A 両材料を併せて図1に示す。

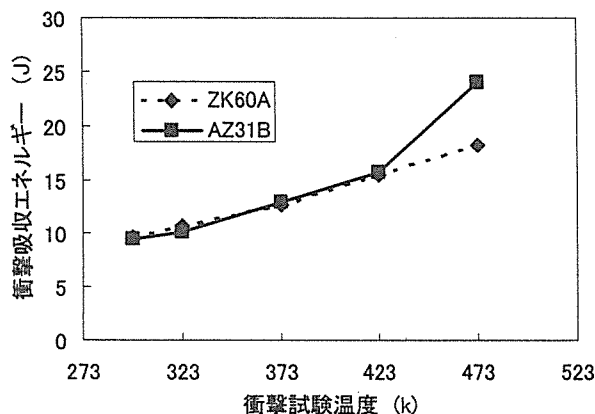


図1. 各試験温度における衝撃吸収エネルギー

両材料とも試験温度が上がるにつれて衝撃吸収エネルギーが増す傾向にある。423K以上では、AZ31Bの衝撃吸収エネルギーの増加が著しい。

3. 2計装化衝撃試験結果

AZ31B 室温(298K)条件でのシャルピー衝撃試験時の計装化データを図2に示す。図中山形のチャートは衝撃時の荷重変動を示し、図左軸にその値は相当する。図中の右上がりの直線は、衝撃時のハンマー移動量を示し、図右軸にその値は相当する。図横軸は衝撃時の経過時間をms単位で示している。

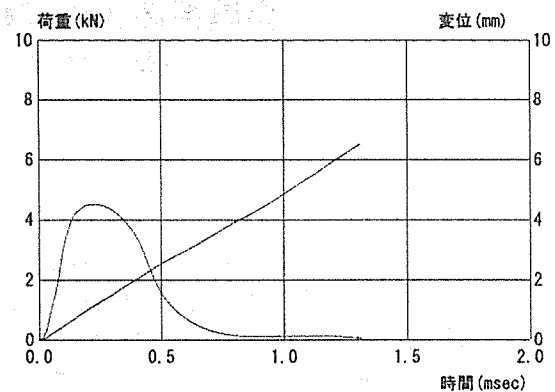


図2. AZ31B (298K) 計装化試験結果

次に、図3に同じAZ31Bの473Kでの計装化衝撃試験結果を示す。298Kの試験結果と異なり、衝撃時の荷重曲線がなだらかになっており、破壊に要する時間が長く、エネルギー量(荷重曲線の積分値)も増していることがわかる。

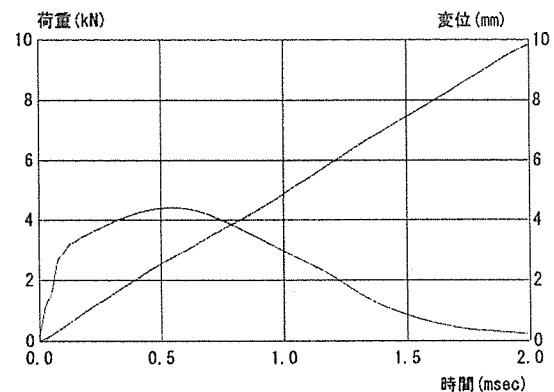


図3. AZ31B (473K) 計装化試験結果

同様にZK60Aの298, 473Kでの計装化試験結果を図4, 5に示す。AZ31B同様に高温時の試験では荷重曲線が鈍化しているが、AZ31Bほどではない。材料間の相違点としては、ZK60Aの方は高温条件下でも破壊に要する時間が短く、変位量も少ない点が挙げられる。

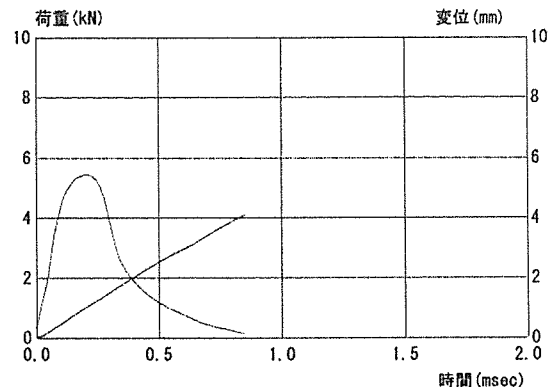


図4. ZK60A (298K) 計装化試験結果

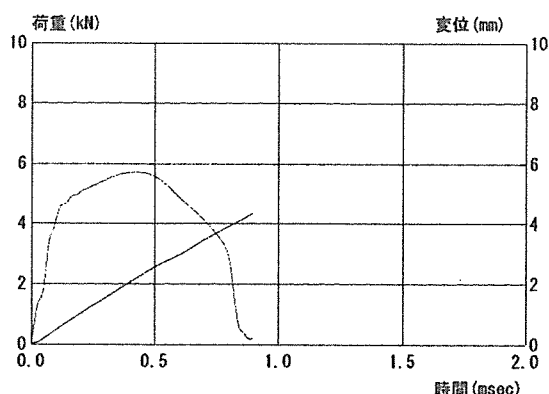


図 5. ZK60A (478K) 計装化試験結果

次に、計装化衝撃試験で得られた各種解析データを表 1, 2 に示す。両材料とも試験温度が高くなると、エネルギー値、変位量が増加してくることがこのデータ表からもわかる。Ei, Ep はそれぞれ最大荷重値前後のエネルギー値を示しているが、これらの比率は試験温度が高くなってもあまり変わらない。

表 1. AZ31B 計装化で得られた各種データ

材料名		AZ31B				
試験温度 (K)		298	323	373	423	473
Ei	J	3.5	2.4	5.5	6.6	9.7
Ep	J	5.9	6.5	7.8	9.7	14.3
Et	J	9.4	9.0	13.3	16.3	24.0
Py	N	2	109	3258	122	2932
Pp	N	4438	3677	4335	4339	4382
Pm	N	4497	3849	4868	4353	4393
Δy	mm	0	0.003	0.311	0.002	0.471
Δp	mm	0.919	0.589	0.554	1.633	2.596
Δm	mm	1.143	0.857	1.398	1.821	2.738
$\Delta \max$	mm	6.522	6.394	6.537	7.685	13.187

表 2. ZK60A 計装化で得られた各種データ

材料名		ZK60A				
試験温度 (K)		298	323	373	423	473
Ei	J	4.1	4.2	5.1	4.0	10.1
Ep	J	5.3	6.0	8.2	11.1	8.4
Et	J	9.4	10.1	13.4	15.0	18.6
Py	N	3627	3559	3622	3377	3812
Pp	N	4838	4830	4798	4606	4549
Pm	N	5429	5334	5409	5034	5701
Δy	mm	0.322	0.323	0.316	0.280	0.396
Δp	mm	0.551	0.564	0.549	0.537	0.556
Δm	mm	1.014	1.044	1.223	1.034	2.178
$\Delta \max$	mm	4.105	5.603	4.104	6.768	4.351

試験温度が上昇することによって、最大荷重値前後、両方の吸収エネルギーが増すことによって、全体の吸収エネルギーが増していると考えられる。

また、AZ31B 材では、材料の伸びを示す変位量が 473K での試験で倍増しており延性的に破壊が進んだと考えられる。

一方、亀裂発生点荷重、最大荷重に関しては、試験温度と相関はなさそうである。

3. 3 考察

金属材料における塑性変形は、結晶面でのすべりによって起こる現象である。マグネシウム合金は、最密六方晶の結晶構造で、室温状態におけるすべり面は (0001) の底面すべりのみしか塑性変形に寄与していない。このことがマグネシウム合金の高速塑性加工を阻む要因である。しかしながら、加工温度を上昇するにつれて、非底面すべりが活動をはじめ、塑性加工特性の改善が見られるようになる。³⁾ 今回のシャルピー衝撃試験による高速塑性加工においても同様な理由により、衝撃特性の向上が見られたものと考えられる。

4. おわりに

計装化シャルピー衝撃試験機を用い、動的破壊挙動を評価の指針として採用し、高速塑性加工時の材料特性を調べた。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 試験温度が高くなると衝撃吸収エネルギーが増し、473K での吸収エネルギーは倍以上になった。
- (2) AZ31B 材においては、473K になると破壊時の伸びが大きくなり、延性的に破壊が進んだと考えられる。
- (3) ZK60A 材は 473K でも伸びは少なく、この温度域での高速塑性加工には問題があると思われる。

今回の研究では、材質間によって高速塑性加工特性に差異があることの確認はできたが、その理由までは解明できていない。この点を掘り下げていけば、高速塑性加工のヒントが得られると考える。

参考文献

- 1) 山口幸夫, 中野英俊, シャルピー衝撃試験の国際比較, 計量研究所報告 Vol. 49, No. 1, p1-7
- 2) 小林俊郎, 山本勇, 計装化シャルピー衝撃試験における進歩と発展, 日本金属学会会報 第32巻第3号 (1993), p151-159
- 3) 勝田基嗣, マグネシウムのプレス加工, 2000 マグネシウムマニュアル, 日本マグネシウム協会, p121-137