

マグネシウム合金の冷間圧延の研究

東京電機大学 工学部 機械情報工学科

教授 阿高松男

院生 桜井勇旗 篠原謙介

(平成 15 年度研究開発助成 A F - 2003019)

1. 研究の背景と目的

Mg 合金は、軽量、高強度且つ耐食性等に優れるなど、非常に機能が強く、他金属や樹脂系材料に変わる材料とされている。製品としてはノートパソコン、携帯電話などに組み込まれ、評価も高い¹⁾。昨今では射出成形や鋳造による製法が盛んだが、生産性が悪いのが現状である。よって生産性の高いプレス成形が望まれているが、それには安定した薄板製造技術の確立が必要である。現在、薄板製造で最も盛んなのは温間圧延²⁾であるが、Mg 合金の特性上、温度ムラなどの影響で広幅の材料を安定して作ることが出来ない。

本研究ではこれらの状況を踏まえ、生産性の高い冷間圧延による Mg 合金薄板の製造の実現を目的としている。冷間圧延の代表的な問題として、高圧下で発生するエッジ割れ現象がある。本研究はこのエッジ割れ現象のメカニズムを明確にし、その対応策を検討した。また、Mg 合金の温度依存性にも着目し、冷間圧延に近い条件の圧延方法を検討した。

2. 実験条件

2.1 実験機器

本研究で使用した主な実験機器を以下に示す。表 1 は圧延機の主な仕様である。

- 1) 引張り試験機 島津オートグラス AG-5000NE
- 2) 圧延機 大東製作所二段ロール式圧延機
- 3) 加熱機 シェアープラジェット熱風加工器
- 4) 温度計 KEYENCE NR-1000

表 1 圧延機の主な仕様

圧延速度 (mm/sec)	ロール形状 (mm)	ロール粗さ (μ m)
140	$\phi 70 \times 120$	0.2
140	$\phi 20 \times 140$	0.4

2.2 実験材料

使用した実験材料は以下の通りである。

使用合金: AZ31Mg 合金, AZ31Mg 合金 Al リッチ (Al 約 4%)

製造方法: 圧延、押出し

材料板厚: 0.5、0.9、1.5 [mm]

表 2 AZ31 の化学組成

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca	Mg
2.5~3.5	0.7~1.3	0.20~0.50	<0.005	<0.10	<0.04	<0.005	<0.04	残

2.3 潤滑剤

使用した潤滑剤は以下の 2 種類である。

表 3 潤滑剤

潤滑剤	粘度 (mm^2/sec)
SD26	480.3
NT100	21.61

3. エッジ割れ現象の考察と評価方法

初めに、冷間圧延時、Mg 合金板材におきるエッジ割れ現象を観察するために、試験片寸法 $0.5 \times 20 \times 100$ mm の AZ31 Mg 合金板材を 1 パス圧延した。そして、圧延後の板材を引張り試験した。潤滑剤は高粘度の SD26 を用い、試験片表面に塗布した。図 1 に、引張り強さと圧下率の関係を示す。

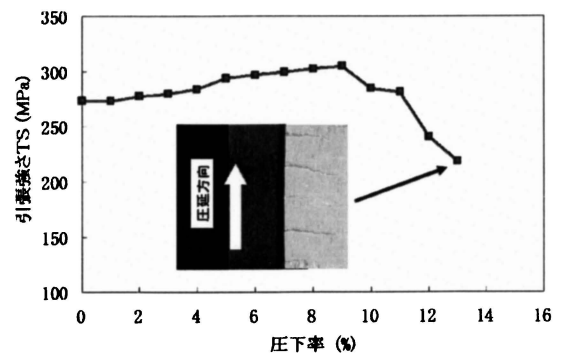


図 1 圧下率と引張強さの関係図および割れの写真

グラフ内の写真は、圧下率約13%で冷間圧延した時に起きたエッジ割れの様子である。マグネシウム合金は結晶構造上、すべり系が少なく延性に乏しいため、低い圧下率でも割れが生じやすい。同時に、エッジに割れが起きやすいのは、圧延加工によって起きる材料の幅方向流れに伴って発生する張力が影響していると考察した。中島らの報告³⁾では、図2に示すように板材エッジ部付近から強い張力立ち上がりが生じていることが確認されている。

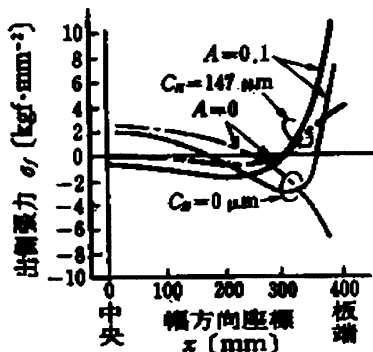


図2 張力分布³⁾

(中島浩衛ほか 昭54 春塑加講論(1978), 417)

ここで、図1の引張強さの変化に注目すると、圧下率と共に上昇していく引張強さが9%を過ぎたところで下降していることが分かる。本報ではこれまでの研究成果に従い、この引張強さの低下は、材料に起きた微小なエッジ割れの影響で起きたものと考え、これを圧延限界と定義した^{4)~6)}。つまり、この実験結果では、圧下率9%の時点で材料の圧延限界が来ていると考えられる。

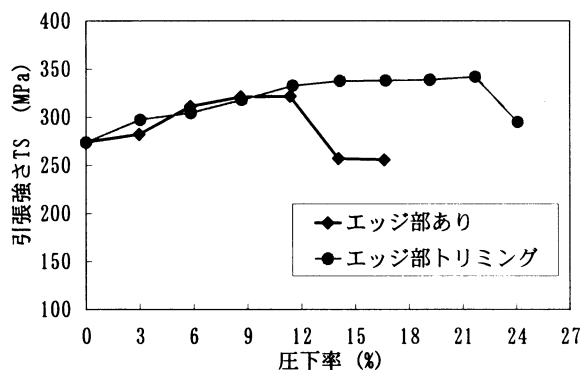


図3 エッジトリミングによる圧延性の向上

エッジ割れが引張強さに影響を与えている証明として、図3にエッジトリミング実験の結果を示した。この実験は幅20mmと30mmの試験片を使用し、パス圧下率3%の複数パス圧延を行ったものである。幅20mmの試験片は圧延後にそのままの状態、幅30mmの試験片は圧延

後に左右エッジ部を5mm取り除いてから引張り試験を行った。図から分かる通り、エッジ部を除去しなかった試験片は約11%で圧延限界を迎えているが、エッジ部を取り除いた試験片は約22%まで限界圧下率が向上した。また小圧下の圧延は、図1に比べ圧延限界が向上している。これは小圧下によって圧延荷重の軽減と幅広がりを軽減させたためである。

この結果から、小圧下で複数パス圧延をすることか、またはエッジ部を除去すれば、Mg合金の圧延性は改善することが分かる。

4. 冷間圧延実験

4.1 ロール径の影響調査

Mg合金のエッジ割れには結晶構造と圧延加工の材料幅方向流れによる張力発生が関係していることを考察した。そこで、ロール径を小さくすれば幅方向流れを抑えて圧延性を改善出来ると考え、ロール径φ70mmとφ20mmの比較実験を行った。

(1) 実験方法

使用した材料はAZ31 Alリッチ材とAZ31 押し材で、試験片寸法および潤滑剤は前述の実験と同様である。実験はまず1パス圧延を行い、次に引張り試験を行って、引張強さTSの変化から圧延限界を比較した。

(2) 実験結果と考察

実験結果を図4と図5に示す。Alリッチ材において、ロール径70mmの結果は約6%で引張強さが急激に下がったので、これがエッジ割れによる圧延限界と考察される。それに対し、小径のロール径20mmでは約8%まで圧延限界が向上した。押し材においても、ロール径70mmで10%の圧延限界、ロール径20mmの場合は約12%まで圧延限界が向上した。

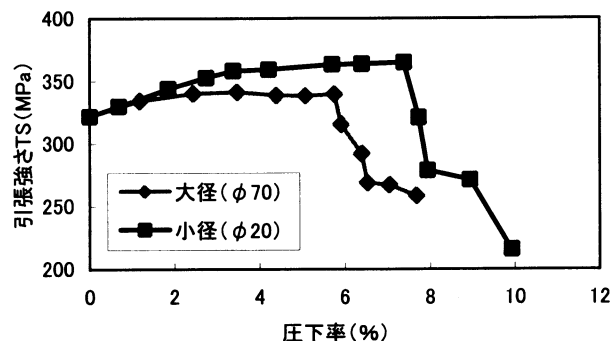


図4 ロール径のTSへの影響 (Alリッチ材)

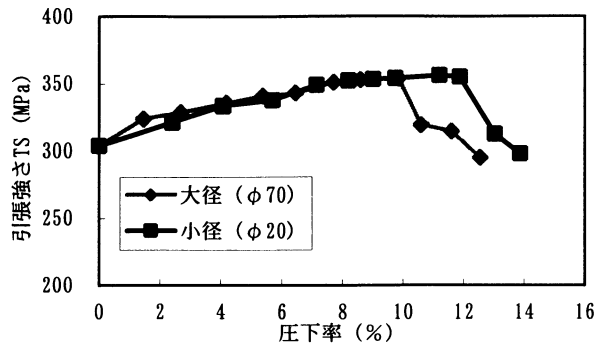


図5 ロール径のTSへの影響(押出し材)

以上より、小径ロールで圧延することによってエッジ割れの発生を遅らせることが可能であることがわかった。

大径ロールでは、接触弧長が長くなると材料との接触面積が増えるため圧延摩擦の影響を受けやすい。そのため、材料の幅方向流動が大きくなり、試験片エッジ部にかかる張力が大きくなって早期にエッジ割れが発生する。これに対し、小径ロールの圧延は、接触面積が減るので圧延摩擦の影響も少なくなり、圧延特性を向上できたと考えられる。ともかく、エッジ割れと材料の幅流動が密接に関係することが分かった。

4.2 潤滑剤の影響調査

ロール径調査の場合と同様に、幅方向流れでエッジ割れが発生するとすれば、摩擦を小さくして幅流れを小さくできれば、エッジ割れが生じにくくなると考えられる。そこで、摩擦係数に影響を与える潤滑油を変更してその効果を比較検討した。

(1) 実験方法

試験片は前項と同様である。使用潤滑油は表3に示したSD26とNT100を用い、試験片表面に塗布した。ロール径はφ70mmのものを使用し、任意の圧下率で圧延し、その後、引張試験を行い、データを比較検討した。

(2) 実験結果と考察

実験結果を図6と図7に示す。図6はAlリッチ材の潤滑効果を比較したもので、あまり効果は出ていないことがわかる。一方、図7は押出し材の潤滑効果を比較したもので、粘度の高いSD26の方がNT100の結果よりもエッジ割れを遅らせたことがわかった。この結果より、粘度の高い潤滑剤によって圧延摩擦を低減することができればエッジ割れを遅らせることが可能であることがわかった。Alリッチ材で潤滑効果が出なかった原因として、材料の表面性状が悪く、潤滑材が表面凹部分に取り込まれる割合が高いので十分な潤滑効果が得られなかったと

考えられる。

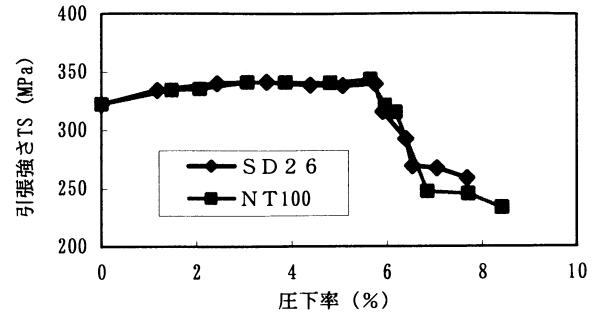


図6 潤滑剤粘度のTSへの影響(A1リッチ材)

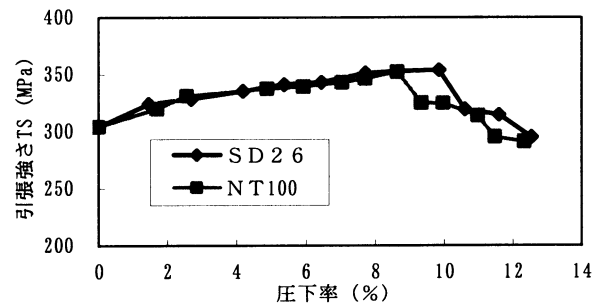


図7 潤滑剤粘度のTSへの影響(押出し材)

5. 低温間圧延実験

冷間圧延を行う際、圧延条件を変えることによって圧延性を改善出来ることが分かったが、その効果は大きなものとは言い難い。これは、Mg合金の結晶構造に因るところが大きい。Mg合金の結晶構造は最密結晶六方構造であり、従ってすべり変形は大きく底面すべりと非底面すべりに分類される。底面すべりは室温でも活動するすべり系で、これに対し非底面すべりはほとんど活動しない。ゆえにMg合金は室温におけるすべり変形の乏しさから塑性加工性が悪い。非底面すべりはMg合金を加熱すると活発になり、高温になると大きな塑性変形が可能になる。この特性を利用しているのが現在主流の温間圧延であり、およそ250℃~400℃まで加熱して圧延を行っている²⁾。しかしMg合金は温間でも温度ムラや寸法精度の問題があり、冷間圧延ほどの生産性が望めない。そこで、温間より低い加熱温度すなわち100℃~200℃の状況で圧延加工が出来れば、冷間圧延に近い加工が出来るのではないかと考え、これを低温間圧延と定義し実験することにした。

(1) 実験方法

ロールはφ70mmを用いた。圧延は1パスで行い、圧延限界を引張り試験で調査するのは冷間圧延実験と同様である。潤滑油は効果のあったSD26を用いたが、試験片

を加熱するのでロール表面に塗布した。使用した材料はAZ31 圧延材である。試験片の寸法は、1.5 or 0.5×15×85mmで、JIS-Z2201 特別引張試験片形状を採用した。

加熱方法は圧延機トレイ上に試験片を置き、フードをかぶせて、その上から熱風ドライヤーで加熱した。そして、試験片表面温度が100℃または150℃になったら圧延を行った。

(2) 実験結果と考察

図8は1.5mm材の圧下率と引張強さの関係である。図から分かる通り、冷間圧延で圧延限界とした圧下率でも、引張強さが低下していない事が分かる。冷間圧延で約7%の圧延限界は、100℃に加熱すると15%、150℃に加熱すると24%まで改善された。つまり100℃程度の加熱でも、冷間圧延に比べて約2倍、150℃の加熱は圧延性を約3倍まで改善することが分かった。また、ここではグラフを省略するが、0.5mmの薄板では100℃、150℃に大幅な差が出なかったものの、いずれも冷間圧延における限界圧下率9%を17%まで改善した。

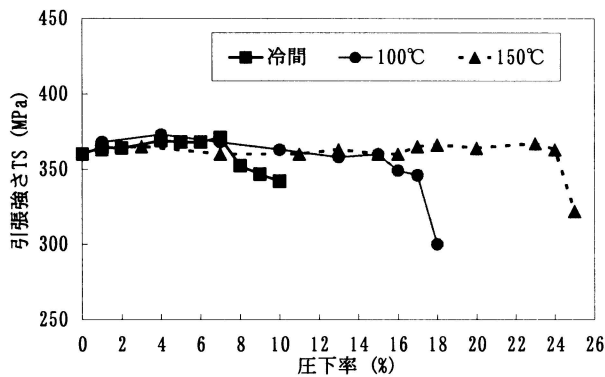


図8 圧下率と引張強さの関係 (1.5mm材)

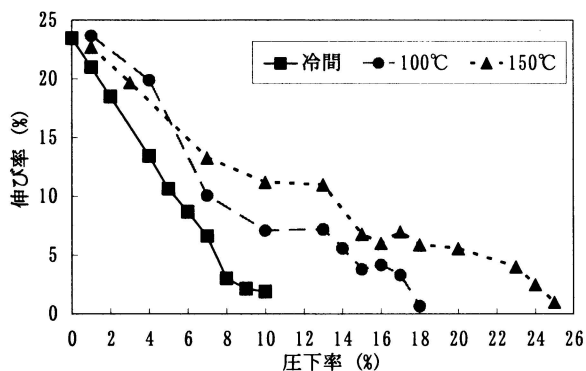


図9 伸び率と圧下率の関係 (1.5mm材)

次に、圧延した試験片の伸び率の変化について考察する。図9は1.5mm材の圧下率と伸び率の関係を示している。図から分かる通り、AZ31 マグネシウム合金は1パス

圧下率の上昇に従い、伸びが減少していくことが分かる。そして、圧延限界付近ではほぼ1~2%まで伸び率が下がることが分かった。この傾向は0.5mm材でも同じであった。また、この図から分かる通り、低温間で圧延することはマグネシウム合金の伸び改善に効果があることが証明された。

6. エッジ加熱圧延実験

前述の低温間圧延では圧延性は大きく改善するものの、板材を全体加熱する点は温間圧延と変わらない為、材料が広幅になるほど、エッジ部から冷えやすくなり、エッジ割れの起きる可能性が高くなる。そこで広幅の材料に対応するために、割れの起きやすい試験片エッジ部のみ局所加熱をすれば、エッジ割れすることなく冷間圧延に近い条件で圧延できると考え⁹⁾、その方法を検討した。

(1) エッジ加熱圧延システム

局所加熱条件を作るためのエッジ加熱システムを図10に示す。構成は冶具、圧延機テーブル、冶具上部のノズルに装着される工業用ドライヤーからなる。テーブルと冶具は伝導性の良いアルミニウム合金を用いた。トレイ上の木材は断熱の目的で使用している。

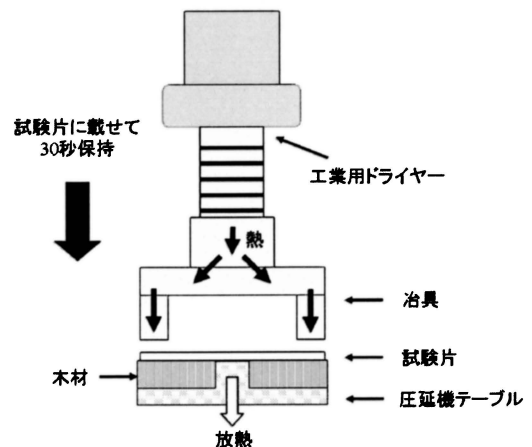


図10 エッジ加熱システムの概要

加熱手順について述べると、まずドライヤーの熱風で冶具をあらかじめ加熱しておく。次に冶具を試験片の上にセットし、冶具内の矢印で示すように熱を伝導させる。冶具を加熱して接触部分がまんべんなく温まったら、試験片の上に載せ試験片エッジ部を加熱する。同時に中央部は白い矢印で示すように圧延機テーブルと接触させ、冷却と放熱を行った。これによってエッジ部と中央部に約40℃~50℃の温度差が生じ、局所加熱の条件を作った。なお、後述するが、温度差を作るために試験片の寸法も変更した。

(2) 実験方法

ロールはφ70mmを用い、圧延は1パスで行った。使用した材料はAZ31 Mg合金で、試験片の寸法は0.9×100×50 mmとした。前項の実験と試験片サイズが変わるが、これは広幅にして温度差を作るためである。

比較検討の意味も含め、本実験ではエッジ加熱圧延と、全体加熱圧延、および冷間圧延実験を行った。前項までの実験と異なり、目視によるエッジ割れの発見を圧延限界として比較した。これは試験片が広幅になり、引張り試験による評価が難しいためである。加熱温度は局所加熱、全体加熱共に低温間域の150℃とし、試験片のエッジ部表面が目標温度になった時点で圧延した。なお、目標温度に達するまでエッジ加熱治具を保持する時間は、実験結果から約30秒とした。

(3) 実験結果

実験結果を図11に示す。結果より、エッジ部のみの加熱でも全体加熱とほぼ同様に圧延限界の改善を見ることができた。

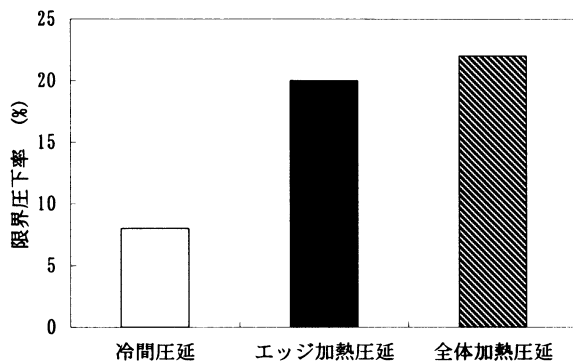


図10 圧延条件ごとの圧延限界の比較

グラフではエッジ加熱と全体加熱の圧下率に微小差があるが、これは加熱する際に圧延機トレイが、両者の方法で異なるためである。全体加熱の場合はトレイ上で任意時間加熱するため、実験中はトレイの温度も上がり、加熱後の抜熱がある程度保証される。エッジ加熱の場合はトレイ上での加熱自体は30秒なのでトレイが温まらない。ゆえに若干だが圧延性が落ちてしまったと考察する。トレイ温度が同条件であれば両者の数値は同じになると思われる。

以上より、エッジ加熱圧延の有効性を示した。しかし今回の実験条件では、中央部が少なくとも100℃まで上昇している。実際の広幅材を圧延する際には、中央部はほぼ冷間圧延と同じ条件になると予想されるため、より常温に近い条件で、同様の検討を行う必要がある。今後の課題は、より現実的なエッジ加熱圧延の実現となる。

7. まとめ

以下に本報の研究成果をまとめる。

- 1) エッジ割れの原因は、材料の幅方向流入により生じる高張力分布によるものであり、幅方向流入を小さくするプロセスを行うことで、エッジ割れの発生を遅らせることが確認できた。
- 2) 低温間圧延は、100℃の加熱で、冷間の2倍近く圧延性を改善出来ることが証明された。0.5mm材でも同様の効果を得られた事から、厚さによる効果の差もないと思われる。また、1.5mm材では、150℃まで加熱すれば20%以上の大圧下率を得られることを示した。圧下率上昇に伴い伸び率は減少していき、エッジ割れの起きる付近では、約1~2%まで落ち込むことが分かった。
- 3) エッジ加熱圧延は150℃の全体加熱圧延と同程度の圧延性改善を示した。すなわち割れの起きやすいエッジ部のみ加熱しても、材料のエッジ割れを防止することが出来るといえる。ただし中央部は、広幅材の条件により近づけるため、加熱法を見直す必要がある。

Mg合金の冷間圧延を実現させるには、局所加熱が適切ではないか、という考察にたどりついた。今後はエッジ加熱圧延で実操業に近い条件を作り出したときに、どの程度まで圧延性が向上するか検討する必要がある。また、エッジ加熱で作成した板材の機械的性質や結晶粒の変化も確認することによって、Mg合金の冷間圧延の可能性を明確にしていきたい。

謝辞

本研究にご理解を頂き、研究助成によりご協力頂いた天田金属加工機械技術振興財団に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本塑性加工学会：マグネシウム加工技術, (2004), 60, コロナ社
- 2) 渋谷将行：第239回塑性加工シンポジウム, (2005), 9-16
- 3) 中島浩衛ほか：昭54春塑加講論, (1978), 417
- 4) 阿高ほか：平15 塑加春講論, (2003), 365
- 5) 阿高ほか：第54回塑加連講論, (2003), 103
- 6) 阿高ほか：平16 塑加春講論, (2004), 167
- 7) 阿高ほか：第55回塑加連講論, (2004), 155
- 8) 阿高ほか：平17 塑加春講論, (2005), 307
- 9) 阿高ほか：第56回塑加連講論, (2005), 1119