マグネシウム合金による複雑形状部品の鍛造・プレス加工技術の確立と用途開発

高野　格*　　山崎　栄一*　　田辺　寛*　　須貝　裕之*　　平石　誠*　　折笠　仁志*

Establishment of Forming Technologies for Complicated Shaping Parts and Application Development Using Magnesium Alloy

TAKANO Itaru, YAMAZAKI Eiichi, TANABE Hiroshi, SUGAI Hiroyuki, HIRAISHI Makoto and ORIKASAHitoshi

抄　録

マグネシウム合金の鍛造・プレス加工技術の高度化および製品化技術を確立するため、(1)各種潤滑剤と金型表面コーティングの組み合わせによる絞り成形性の向上、(2)マグネシウム合金用研磨実験装置と装飾研磨技術の開発、(3)金属光沢を活かした染色可能な陽極酸化処理技術の開発、等を行った。各々について、マグネシウム合金加工技術をさらに高める結果を得たが、とくに(3)では新しい表面処理技術を開発することができた。また、本研究を通じて県央地域地場産業アクションプランの技術的な支援を行い数種の製品試作に至ったので、併せて紹介する。

１．緒　　言

マグネシウム合金は､実用金属中で最も軽く、比強度、振動減衰性、電磁波遮蔽性等に優れた特性を持ち、ＰＣや携帯電話等の情報機器、携帯家電製品、自動車など各種産業分野に応用範囲が拡大している。しかし、マグネシウム合金の成形はダイカストやチクソモールディングが中心であり、県内の金属加工業が得意とする鍛造・プレス加工等の塑性加工による製品はほとんど無く、さらにはその基礎的データもいまだ不十分な状態である。

そこで、既存のマグネシウム合金の鍛造・プレス加工を中心とした塑性加工技術を高度化し、製品化技術を確立するため、(1)各種潤滑剤と金型表面コーティングの組み合わせによる絞り成形性の向上、(2)マグネシウム合金用研磨実験装置と装飾研磨技術の開発、(3)金属光沢を活かした染色可能な陽極酸化処理技術の開発、などの研究を行ったので報告する。また、これらの研究を通じて県内企業へのマグネシウム合金塑性加工技術の普及と用途開発を行い、県央地域地場産業アクションプランの推進を支援し、数種の製品試作に至ったので併せて紹介する。

*研究開発センター

２．各種潤滑剤と金型表面コーティングの組み合わせによる絞り成形性の向上

２．１　概　　要

現在、マグネシウム合金板を絞り成形する際の潤滑剤は、テフロンシート、プレコートタイプの潤滑剤､油系潤滑剤が主に使用されている。プレコートタイプの潤滑剤と油系潤滑剤は扱いやすい反面、潤滑性能がテフロンシートに比べて劣る。逆にテフロンシートは潤滑性能が最も優れるものの、高価で作業性が悪く、また多工程にわたる成形加工に難点がある[1)]。マグネシ

ウム合金成形用潤滑剤の開発方向は、多工程成形への対応や扱いやすさ、コストを総合した点から油系潤滑剤が有望視されているが、開発途上である。そこで、絞り成形における潤滑を、潤滑剤だけでなく金型の表面性状の側からも見直し、各種表面コーティング[2)]を施した金型と油系潤滑剤の併用により、総合的に絞り成形性を向上させるべく実験を行った。

2．2　実験方法

実験には、定格 2MN(200tf)の油圧式複動プレスを使用し、供試材は米国 S.C.I.社製の AZ31B-H24 材（板厚 0.88mm）を用いた。金型は内部に棒状ヒーターを組み込んだ円筒深絞り用金型で、金型各部の寸法は表 2.1 のとおりである。ダイスと板押さえの材質は SKD11 であり、表面コーティングの種類ごとにダイス、板押さえを取り替え可能な構造としている。表面コーティングは、硬質クロムメッキ、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）、TiN（窒化チタン）の 3 種類を実験に供した（表 2.2）。また、潤滑剤には、表2.3に示す 3 種類を用いた。絞り成形試験の条件は、ダイス・板押さえ温度を 200 ℃～ 250 ℃の間で変化させ、ポンチ温度(30 ℃）と板押さえ力（14kN）は一定として成形試験を行った。成形性の評価方法は、限界絞り比（LDR）にて行った。

表2.1　金型各部の寸法

金型各部	寸法(mm)
ダイス径	φ42
ダイス肩半径	R4
パンチ径	φ40
パンチ肩半径	R4

表2.2　金型表面コーティングの種類と性質

	膜厚 (μm)	硬さ(HV)	動摩擦係数
硬質クロムメッキ	11	950	0.4
DLC	2.3	2000	0.3
TiN	3	2100	0.57

表2.3　実験に用いた潤滑剤

潤滑剤	メーカーおよび潤滑剤の名称
テフロンシート	ユニバーサル(株)　PTFE(t0.05)
プレコート潤滑剤	日本工作油(株)　AB-2578T
油系潤滑剤	大同化学工業(株)　ラグレスDRM-220

2．3　実験結果および考察

図 2.1 に各種潤滑剤と硬質クロムメッキを組み合わせて、成形試験を行った場合の限界絞り比を示す。200 ℃～ 250 ℃の温度域において、

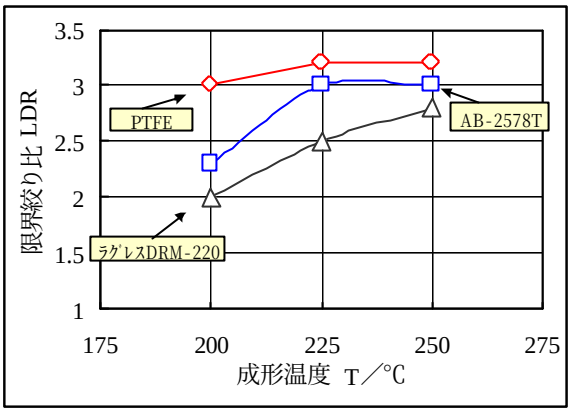


図2.1　硬質ｸﾛﾑﾒｯｷ金型の限界絞り比

テフロンシート(PTFE)の絞り比が最も高く、次いでプレコートタイプの潤滑剤 AB-2578T、最後に油系潤滑剤ラグレス DRM-220 となっている。3 種類の潤滑剤とも成形温度の上昇に伴い、成形限界が向上することが分かる。

図 2.2 に DLC コーティングを施した金型の

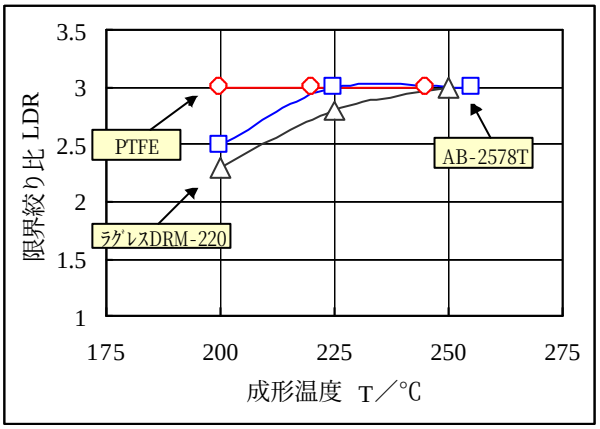


図2.2　DLCｺｰﾃｨﾝｸﾞ金型の限界絞り比

限界絞り線図を示す。PTFE については、硬質クロムメッキの場合と比べ、コーティング膜の付加によるクリアランスの減少により、LDR が 3.2 から 3.0 と減少している。しかし、プレコート潤滑剤や油系潤滑剤においては軒並み限界絞り比が向上し、プレコート潤滑剤では 200 ℃において 0.2、油系潤滑剤では各温度で 0.2 ～ 0.3 絞り比が向上した。

図 2.3 には TiN コーティングを施した金型の限界絞り線図を示す。PTFE の限界絞り比は、各成形温度で DLC コーティングと同様に 3.0 であり、225 ℃以上ではプレコート潤滑剤も絞り比 3.0 に達する。また、250 ℃では油系潤滑剤も絞り比 3.0 となり、3 種類の潤滑剤とも同等の性能を示した。以上の結果、DLC や TiN

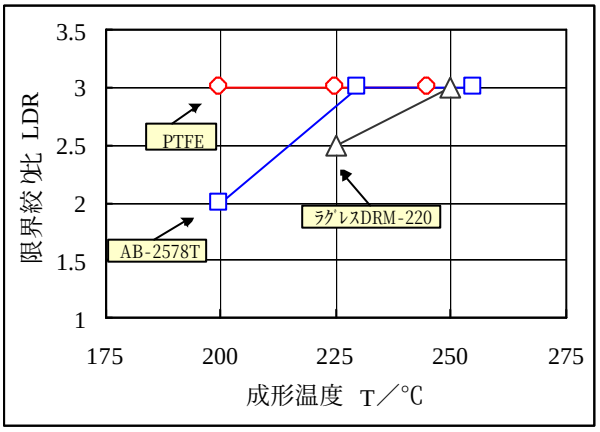


図2.3　TiNｺｰﾃｨﾝｸﾞ金型の限界絞り比

をコーティングした金型と、プレコート潤滑剤や油系潤滑剤を組み合わせて使用した場合、成形温度 250 ℃においてテフロンシートと同等の成形が可能であることを確認した。

３．マグネシウム合金の装飾研磨技術の開発

３．１　概　　要

マグネシウム合金製品のほとんどが塗装であり、プラスチックや木製品と差別化が難しく、金属としての質感が求められている。そこで、マグネシウム合金表面に「ヘアーライン加工」や「ミラー仕上」などの金属的特徴を付与する意匠性の高い装飾研磨技術の開発を行った。

３．２　研磨実験装置の開発

マグネシウム合金の研磨は、活性金属であることから激しい酸化反応を伴い、特に乾式研磨では粉塵爆発を起こす危険性がある。そこで、限りなく安全作業を目指し、バフ研磨とヘアーライン加工を可能にする研磨実験装置の開発を行った。開発機の特徴は、粉塵が周囲に飛散しないよう研磨作業場（プレハブハウス:幅 3600× 奥行き 3600× 高さ 2300）を設け、外部に設置した湿式集塵器により粉塵を処理する構造とした。仕様を表 3.1 に、開発した研磨実験装置を図 3.1 示す。

表3.1 研磨実験装置の仕様

項目		寸法(㎜)・性能
電動機		3.7kW（防爆型）
バフ部	主軸回転数	2500 rpm（ｲﾝﾊﾞｰﾀにより可変）
	バフサイズ	外径φ305×幅100×穴径φ25.4
ベルト部	ベルト周速	1570m/min（ｲﾝﾊﾞｰﾀにより可変）
	ベルトサイズ	幅300×周長2100
その他		冷却水ノズル設置

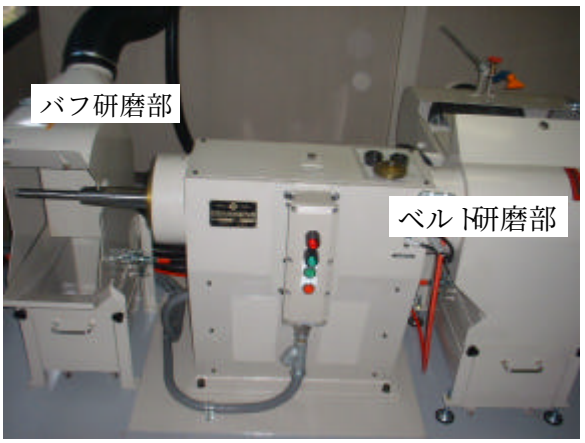


図3.1　開発した研磨実験装置

３．３　装飾研磨技術の開発

マグネシウム合金板材のヘアーライン加工(ベルト研磨）とミラー仕上（バフ研磨）に関する最適加工条件を把握するとともに、安全作業について確認した。バフ研磨に関してはミラー面が得られる工程の確認を、ヘアーライン加工に関しては研磨速度による表面性状への影響

図3.2　バフ研磨によるミラー仕上

を調べた。図 3.2 にバフ研磨によるミラー面を示す。図柄や文字がよく写る良好なミラー仕上げを行うことができた。バフ研磨の粉塵飛散に関して、その特質上ほとんど起こらないが、頻繁な清掃を行うなど十分注意しながらの作業を薦めたい。

図 3.3 にベルト研磨における加工速度の影響

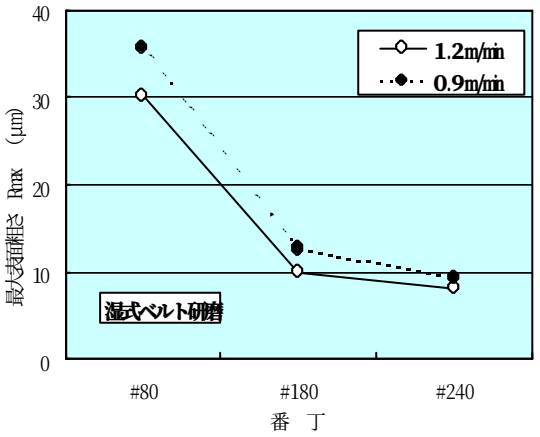


図3.3　ベルト研磨における加工速度の影響

を示す。ベルト砥粒番丁を細かくするに従い、当然ながら表面粗さも減少する。その値は加工速度を速くすると若干小さくなるようであるが、外観上は大きな差異は認められない。加工効率を考慮すると加工速度を大きくすることが有利であるが、研磨ベルトの寿命や焼き付き現象を考慮した研磨条件を選択する必要がある。また、乾式によるベルト研磨については、集塵を行った場合でも粉塵飛散が激しく、粉塵爆発

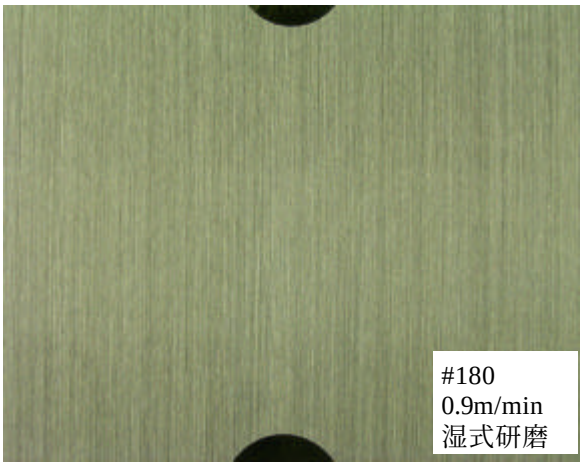


図3.4　ベルト研磨によるヘアーライン

を引き起こす可能性があるため、安全上、必ず湿式研磨による作業を提案したい。図 3.4 にヘアーライン仕上げの一例を示す。均一に揃った良好なヘアーラインを加工できた。

４．表面処理

４．１　概　　要

マグネシウム合金の主たる成形法はダイカストやチクソモールディングであるが、ピンホール、湯じわ等の問題があり、**パテ盛り、研磨、塗装**の工程が不可欠である。一方、プレス成形では良好な表面性状が得られることから、**マグネシウム合金本来の光沢や金属感触**を有する製品に対する市場からの要求が高まっている。

マグネシウム合金の表面処理は①化成処理②陽極酸化の２つに大別できる。化成処理は塗装を前提とした処理であるのに対し、陽極酸化は単独で表面処理として成立しており（JIS 等）、金属感触を有する表面を表現できる。しかし、陽極酸化膜はそれ自体が着色し、商品としてバリエーションに乏しく、処理液に有害物質を含む等の問題がある。そこで、次のことを同時に満たす、陽極酸化膜の開発を行った。

①透明な陽極酸化膜
②陽極酸化膜は染色可能
③重金属や有害物を含まない

４．２　陽極酸化のフローチャート

図 4.1 にマグネシウム合金陽極酸化のフローチャートを示す。基本的にはアルミニウムの陽極酸化（アルマイト）と同じ工程を想定し、装置的にも、工程的にも、地場の産業に受け入れられやすい技術の開発を目指した。

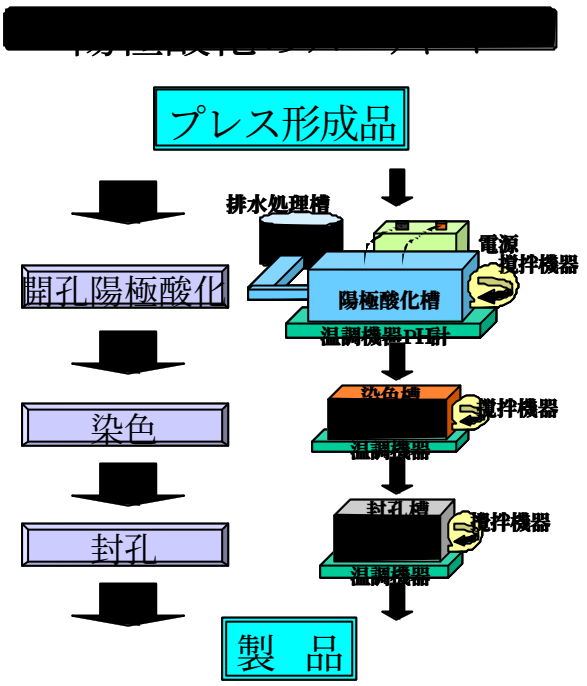


図4.1　陽極酸化のフローチャート

４．３　各工程

陽極酸化、染色、封孔（電着塗料）の３工程からなる。染色槽を間にはさむことで、小ロット生産にも対応できると考える。

４．３．１　陽極酸化槽

アルカリ溶液中にて断続的に通電し、開孔の陽極酸化膜を生成する。条件（通電回数）を変えることにより、薄膜～厚膜まで変化をつけられることが明らかになった。この工程における陽極酸化層が着色層となる。

４．３．２　染色槽

染色槽の交換だけで容易（安価）に小ロット対応ができる。

４．３．３　封孔槽

開孔膜に染料を含浸させた後、電着塗料で孔をふさぐ。外観を決定づける最終工程のため、ゴミなどの混入や表面の平滑性に注意が必要である。

４．４　陽極酸化膜の厚さ

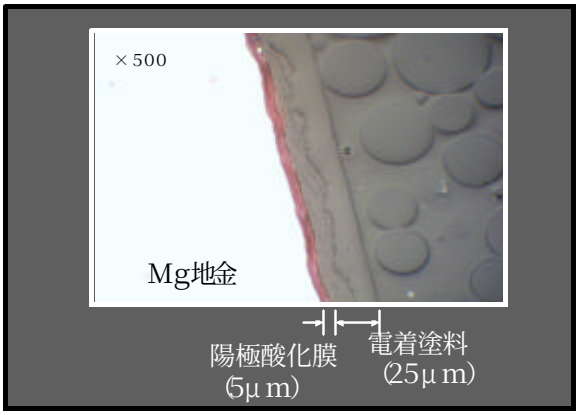


図4.2　陽極酸化膜の断面写真

図 4.2 は、一連の工程を経たマグネシウム合金表面近傍の断面写真である。陽極酸化膜が染料により一様に染まっているのが観察できる。この膜厚制御により、透明色から濃色（不透明）まで変化をつけることが可能となる（図4.3）。また、透明色が得られる膜厚の境界は約４μmと思われる。

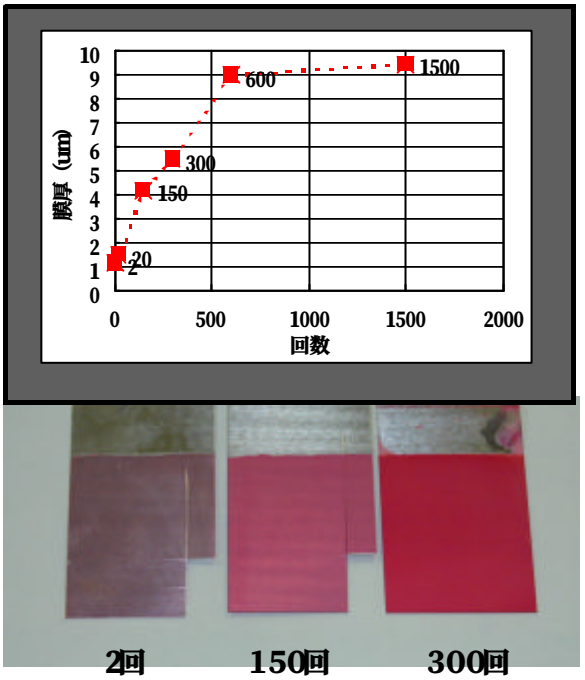


図4.3　陽極酸化膜の膜厚と染色濃度

４．５　性能試験

本研究の陽極酸化膜について、基本的な性能テスト、付着性試験、塩水噴霧試験を行った。

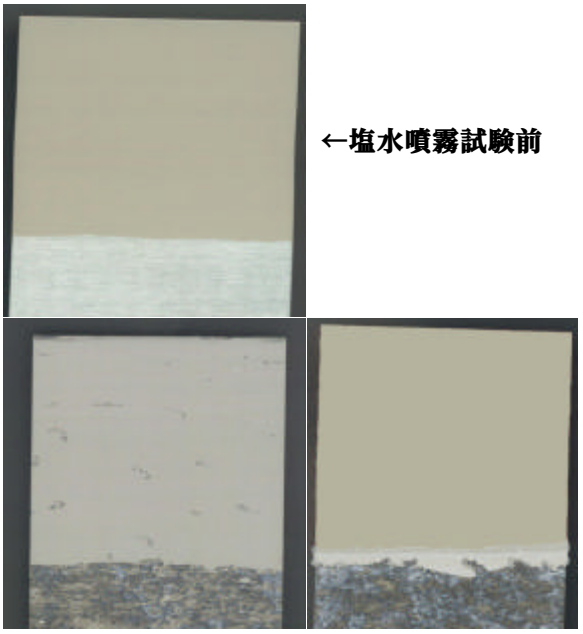
４．５．１　付着性試験結果

条件：JIS K 5400 8.5.2（碁盤目テープ法）による付着性試験を行った。結果を図 4.4 に示す。剥がれは確認出来なかった（100/100）。付着性、密着性とも問題はないと考える。

図4.4　陽極酸化膜の付着性試験

４．５．２　塩水噴霧試験結果

条件:JIS Z2371 7.2.1 中性塩水噴霧試験に準ずる
暴露:**暴露８時間＋休止１６時間**を１サイクルとし、２サイクル暴露した。



←塩水噴霧試験前

塩水噴霧試験後　　塩水噴霧試験後
（電着塗料なし）　　（電着塗料あり）

図4.5　陽極酸化膜の塩水噴霧試験

結果を図 4.5 に示す。陽極酸化をしていない部分（試験片下部）に比べ、耐食性はだいぶ向上しているが、まだ若干の腐食が確認される。しかし、封孔処理を加えた場合には２サイクル試験後においても腐食は認められなかった。以上のことより、陽極酸化法には封孔処理が重要であると考える。

図 4.6 に、膜厚に対する塩水噴霧試験の結果を示す。図 4.3 の関係より、図中の通電回数は膜厚の厚さを表す。

1回	5回	100回	300回
2サイクル×	4サイクル○	4サイクル○	4サイクル○

図4.6　陽極酸化膜厚と耐食性

通電１回では２サイクルで腐食が発生しているが、通電５回の場合、４サイクル終了時点でも腐食は認められなかった。通電５回という条件は、十分透明色の範疇であり、透明色においても要求される耐食性を満足できると考える。

図 4.7 にいろいろな染色処理と透明性を変えた陽極酸化のサンプルを示す。使用する染料により好みのカラーリングが可能であり、とくに透明性のある色合いは金属としての光沢や質感を十分に表すものである。

図4.7　開発した陽極酸化処理のサンプル

５．県央地域地場産業アクションプラン

県央地域地場産業アクションプランにおいて、参加企業１２グループがそれぞれのマグネシウム合金を利用した製品化の課題について取り組む際に、本戦略研究を通して製品化技術の支援を行った。その結果、携帯家電機器の筐体、作業工具、アウトドア用品、福祉機器など、広く民生品を試作することができた。いくつかの試作品を図 5.1 ～ 5.3 に紹介する。

図5.1　アウト・ドア用品

図5.2　車イス等の福祉機器

図5.3　ヘルメット、作業工具等の民生品

６．結　言

６．１　各種潤滑剤および金型表面コーティングによるマグネシウム合金絞り成形性の向上

(1)本研究に供した潤滑剤において成形性に与える効果は、テフロンシート＞プレコート潤滑剤＞油系潤滑剤の順であった。

(2)DLC（ﾀﾞｲﾔﾓﾝﾄﾞﾗｲｸｶｰﾎﾞﾝ）、TiN コーティングした金型と各種潤滑剤を組み合わせて成形した場合、成形温度 250 ℃においてテフロンシートと同等の成形（LDR3.0)が可能である。

６．２　マグネシウム合金の装飾研磨技術

(1)安全性を考慮したマグネシウム合金研磨装置を開発し、ヘアーライン加工とミラー仕上に関する最適加工条件を把握した。

(2)ヘアーライン加工においては、作業安全性から湿式研磨を推奨する。

６．３　マグネシウム合金の陽極酸化処理

(1)染色可能な透明色のマグネシウム合金用陽極酸化処理技術を開発した。この方法では、処理条件により透明色から濃色まで容易にコントロール可能である。

(2)付着性試験および塩水噴霧試験において、市場要求を満たす良好な結果を得た。

謝　辞

本研究を遂行するにあたり、長岡技術科学大学 小林　勝 名誉教授、長岡技術科学大学 小島　陽 教授、鎌土重晴 助教授、新潟大学 渡辺健彦 教授には有益なご助言をいただき、深く感謝申し上げます。

参考文献

1)相田収平，田辺　寛，須貝裕之，高野　格，大貫秀樹，小林　勝：軽金属,50(2000),476

2)古閑伸裕，RatchaneePAISARN：軽金属,51(2001),441