

称号及び氏名	博士（工学） 小原 美良
学位授与の日付	平成 21 年 9 月 30 日
論 文 名	「マグネシウム合金の金属光沢具現化プロセスの構築と その工業化」
論文審査委員	主査 東 健司
	副査 西村 六郎
	副査 奥田 修一
	副査 瀧川 順庸

論文要旨

マグネシウム合金は、実用構造用金属材料の中で最も軽く、高比強度、高比剛性、振動吸収性と放熱性および電磁波シールド性などにおいて優れた特性や機能性を有している。しかしながら、他の金属と比して耐食性や室温での加工性などが劣っていることが実用化を阻む課題であった。最近、その表面処理や加工法に関する革新的技術開発により、一部の電子機器や輸送機器などの部品にマグネシウム合金が使用され始めてきた。その中でも特に、携帯電話、ノートパソコン、デジタルカメラなどの軽量化が必要な機器の内部部品および筐体などの外装部品などに使用される頻度が大きくなっている。

一方、部材・部品、最終製品などの製造コンセプトは大きく変化してきている。即ち、高度成長期において大量生産された製品などは、低価格化を優先したため、消費者の感性を軽視しがちで、無機質で人間味のないものが多かった。しかし、近年において顧客の感性やこころを重視した、ヒトに優しい、安全で、満足される付加価値の高い製品を製造する「ものづくり」コンセプトが主流になってきている。このような状況において、「ものづくり」の新たな指針として、経済産業省は「感性価値創造イニシアティブ」(2007)を提言した。ここでは、「感性価値」に注目した「ものづくり」を提案することで、「感性価値」を活用したビジネスモデルの創世を目指し、産学官が連携して取り組

むべき事項を提言している。この「感性価値」とは、「生活者（消費者）の感性に働きかけ、感動や共感を与えることによって潜在化する価値」とであると定義している。「感性価値」とは、従来製品の付加価値であった優れた機能や高品質、高信頼性などに加え、消費者に感動や共感を与える特別で新しい価値を意味する言葉であり、この「感性価値」を高めることにより、商品としての高付加価値のみならず、満足できる範囲内での高価格化にもつながることができる価値観である。「感性価値」の優劣は、消費者が最初に持つ商品の第一印象への影響が大きく、消費者にとって商品の付加価値への要求以上に購入動機の契機となる。「感性価値」を高めるためには、作り手自らの思いである、こだわり、趣向、遊び心、美意識、コンセプトなどをストーリーやメッセージとして訴える「もの語りの可視化」が重要である。

工業的に製造される製品は多くの部品から構成され、その部品のひとつに筐体や構体などの外装部品がある。これら外装部品の多くものは樹脂材料や金属材料を用いて製造されている。「感性価値」は外装部品や製品の外観において最も容易に判断され得るので、製品や部品の「感性価値」を高めるためには、その意匠性をどのようにするかが最も重要である。金属材料は意匠性の面で使い手に高級感を感じさせることからその利用が期待されているが、その利用には金属材料の種類に依存した使用制限がある。一方、筐体などの外装部品として従来から一般的によく使用されている易成形性の樹脂材料においても、近年では金属材料の優れた「感性価値」を模倣する技術として、金属調のめっきや塗装、印刷などを施す表面処理が開発、発展してきた。しかしながら、本物の素材へのこだわりから金属光沢そのものを可視化した筐体がいくつか製造されており、金属材料を外装部品、特に筐体に使用する場合には、金属光沢は「感性価値」を高める重要な要素のひとつとなっている。

マグネシウム合金部品の場合、難点である耐食性の低さを改善する従来の表面処理法では、「感性価値」を高める金属光沢の具現化は不可能であり、他の素材、例えば樹脂材料との違いを識別できる意匠性を有していなかった。今後、消費者の製品にたいする「感性価値」の第一印象を左右する外装部品の「感性価値」を決定する意匠性として、素材としての金属材料そのものの可視化である金属光沢の具現化が求められる。そこで、本研究では、製品の「感性価値」を高めるマグネシウム合金製部品の金属光沢を具現化できる表面処理条件を種々の観点から調査し、最終的には、軽量化と意匠性の両方を達成できる工業的レベルでの最適な表面処理プロセスの開発を目的とした。

本論文は五章で構成されるもので、各章の概要は以下の通りである。

第一章では、まず、マグネシウム合金部品における金属光沢の必要性を概説し、「感性価値」を最も表しやすい外装部品である筐体を、本研究におけるターゲットと決定した。

金属材料の「感性価値」の可視化、即ち意匠性を実現するために金属光沢と表面粗さの関係を理論的に考察することで、表面形態と表面構造に関する目標とする基本概念を設定した。表面形態の目標は 10~100 nm の表面粗さを除去したより小さな表面粗さと数 1000 nm の表面粗さを保持した表面形態の両方を同時に達成することである。表面構造に関する目標は、構造的に安定な膜質を有する皮膜の生成とその皮膜の膜厚が 35~100 nm オーダーの範囲であることである。これらの表面形態および表面構造を、3 mass% Al、1 mass% Zn を含有するマグネシウム合金圧延材料(以下 AZ31)を用いて検討した。さらに、従来表面処理方法の有効性と問題点を、表面形態と表面構造を対象とし体系的に調査することにより目標概念の達成手段を明確化し、開発の方向性を示した。

第二章では、金属光沢の具現化を阻害せずに表面を酸化させる表面処理方法の構築を目指して、その表面処理液の成分や表面処理条件の最適化を検討した。その結果、0.3~0.5 mol dm⁻³ 硝酸に 0.01 mol dm⁻³ 有機酸を添加した水溶液を表面処理液の最適組成と決定し、溶液温度 278 K の最適組成の表面処理液中に超音波周波数 28 kHz 付加状態で 30 s 間浸漬する方法を、最適表面処理方法とした。表面分析結果や光沢安定性結果から、表面構造は、皮膜中のマグネシウムの約 60%以上が酸化されている膜質から構成され、かつその膜質で構成されている皮膜の膜厚が 55 nm 程度であることを確認した。また、酸化剤添加を含む表面処理液成分および処理温度の最適化が、水素発生抑制にも効果的であり、優れた金属光沢を具現化することを確認した。さらに、最適表面処理方法は、表面近傍での酸化マグネシウムの生成反応速度が酸化マグネシウムで構成されている表面皮膜からのマグネシウムの溶解速度よりも速い条件を達成できる条件であるという結論を得た。

第三章では、まず、表面粗さの定量化方法を確立した。その後、表面形態の目標が、最適表面処理によって達成できているかどうかを確認した。また、表面粗さと鏡面反射強度に関する理論に基づき、金属光沢の具現化についての目標概念の設定が合理的であるかどうか実証した。さらに第二章で考察した金属光沢と表面形態(表面粗さ)との関係を定量的に解析して、金属光沢の具現化機構を解明した。表面粗さの定量化方法は、10~100 nm の表面粗さが、カットオフ 0.002 mm における二乗平均平方根粗さ σ で、数 1000 nm の表面粗さが、カットオフ 0.8 mm における算術平均粗さ Ra で行うことを定義した。この方法を用いて、表面形態の目標が、最適表面処理方法によって達成できているかどうかを検討した。その結果、最適表面処理方法を適用した表面は、二乗平均平方根粗さ σ が 9 nm であり、最適表面処理方法を適用する前の二乗平均平方根粗さ σ (53 nm) よりも小さくなった。これにより、目標とする 10~100 nm の表面粗さを除去した表面形態を達成したことが確認された。また、目標とする数 1000 nm の表面粗さを保持し

た表面形態について検討した。その結果、最適表面処理方法を適用した場合、数 100 nm 以上の算術平均粗さ Ra をほぼ保持したまま金属光沢を得ることができた。この結果は、当初目標とした数 1000 nm よりも小さな表面粗さも保持することを示し、目標以上の成果を得ることができた。さらに、最適表面処理方法を適用した後の表面は、長さ 100 μm オーダーに渡って非常に平滑になっていることがわかった。このことに起因して、二乗平均平方根粗さが非常に小さくなることで、最適表面処理方法を適用した後の規格化鏡面光沢度は、標準試料（エメリー紙#2000 で研磨）と比して、その算術平均粗さがさほど大きく変わらなくても、大きな値が得られるものと結論された。以上の結果から、最適表面処理方法を適用することにより、二種類の大きな異なる表面粗さの制御が同時に達成できることを明らかにした。

表面粗さにおける金属光沢の具現化機構を検討した結果、カットオフ 0.002 mm における二乗平均平方根粗さ σ は、金属光沢を決定する重要な因子であり、53 nm より小さくなった場合に、金属光沢を得ることができると実証した。また、金属光沢が得られない条件と表面粗さの関係についても検討した。その結果、表面処理液の成分に酸化剤を含み温度が高い条件、もしくは表面処理液の成分に酸化剤を含まない条件で表面処理を施した場合、二乗平均平方根粗さ σ が 80 nm 程度となり、結果的に金属光沢が得られないという結論に達した。以上の結果から、本章の目的である金属光沢の具現化機構を明らかにすることができた。

第四章では、第二章、第三章で得られた成果を工業的生産プロセスに展開するため、研究室レベルでのプレス加工品への適用を検討した。また、対象とする部品である筐体を使用する環境に適した、最適表面処理工程を検討した。その結果、最適表面処理方法が、第二章、第三章で検討に使用した標準試料のように、機械研磨した表面だけではなく、プレス加工品にも適用可能であることを確認した。この結果は、最適表面処理方法が工業的レベルで使用可能であることを示している。また、最適表面処理工程（マグブライツTM）が、アルカリ脱脂後、第二、三章で検討した最適表面処理方法をさらに改良した方法で金属光沢を具現化し、その後、透明コーティングを行う方法であることを決定した。この方法によって、筐体に要求される表面性能を達成することが可能となった。このマグブライツTM はノートパソコンの筐体に展開され、量産が行なわれた。これにより、マグネシウム合金部品の新たな「感性価値」である高意匠性を市場において広くアピールできた。

第五章では、本研究で得られた主要な成果と今後の展開をまとめた。

審査結果の要旨

金属材料を用いた高度な筐体部品には「感性価値」の可視化、即ち優れた意匠性（高級感）である金属光沢が求められる。マグネシウム合金部品の場合、金属光沢を具現化できないことが課題であり、現在新たな表面処理方法の開発が急務となっている。本研究では、鏡面反射強度と表面粗さの相関性に関する理論に基づき、マグネシウム合金の金属光沢を具現化できる表面形態や表面構造に関する目標概念を設定し、この目標概念を達成できる最適表面処理方法を開発し、さらに工業化が可能な金属光沢具現化プロセスの構築を目的としている。

本論文では、以下に述べるような研究成果を得ている。

- ① 表面処理条件の最適化を種々検討した結果、金属光沢を具現化する最適表面処理方法が酸化剤を含有した処理液を用いて低温処理する方法であること、得られた表面構造が構造的に安定な膜質で、金属光沢をほとんど劣化させない膜厚であること、などを明らかにした。この結果より、目標とする表面構造を創成できることを確認した。
- ② 表面形態を表面粗さの定量化により検討した結果、最適表面処理方法の適用が、筐体部品のデザイン性を高めるために必要な数 100 nm の表面粗さを保持したまま、可視光波長よりも小さい表面粗さを 10 nm 以下のより小さな値にすることを明らかにした。また、金属光沢と表面粗さの関係を定量的に解析することで、金属光沢の具現化機構を理論的に明らかにした。
- ③ 実用マグネシウム合金プレス成形加工技術として、最適表面処理方法の適用性を検討した結果、工業的レベルでの PC パソコン筐体作製の実用化プロセスに適用できることを実証した。

以上の成果は、金属光沢の支配パラメータが表面粗さと膜厚であるという基本的考えを出発点として、その後の研究開発の方向性を決定し、さらに金属光沢を具現化できる最適表面処理方法を開発し、最終的には金属光沢の具現化機構を明らかにしている。これは、マグネシウム合金部品の新たな「感性価値」である意匠性を高めるための基本概念の構築であり、工業的にも大いに期待できる有益な技術であり、材料技術の一層の高度化に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究を行うに十分な能力と学識を有することを証したものである。学位論文審査委員会は、本論文の審査ならびに学力確認試験の結果から、博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。