

微粒子ピーニングとコーティング法によるアルミニウム合金の表面改質

片岡泰弘^{*1} 黒澤和芳^{*1} 来川保紀^{*1}

Surface Modification of Aluminum Alloys by Micro Particles Peening and Coating.

Yasuhiro KATAOKA , Kazuyoshi KUROSAWA
and Yasunori KITAGAWA

Technical Consulting Division、AITEC^{*1}

本研究では、自動車部品等の軽量化で使用されるアルミニウム合金の機能向上を図るため、その表面改質方法の開発に取り組んだ。実験の結果、微粒子ピーニングの前後で11.7倍の疲労寿命延伸を達成した。

また、微粒子ピーニングをコーティング技術¹⁾として応用・展開することにより、摩耗量を未処理品の約1/4に軽減することができた。

1. はじめに

自動車部品および一般工業部品には、多数の金属部品が使用されるが、金属部品を軽量化して操作性の向上を図るために、近年はアルミニウム合金などの軽金属材料を代用する傾向にある。鉄鋼材料に比べて強度の劣る軽金属材料を使用する場合、疲労強度や耐摩耗性などの機械的特性を向上させる表面改質技術が必要とされる。

本研究では、ガラスやアルミナ微粒子を用いたピーニング法による疲労特性の改善、またSn、MoS₂、四フッ化エチレン（以下PTFEとする）などのコーティングによる耐摩耗性の向上に関する検討を行った。

2. 実験方法

2.1 微粒子ピーニング処理条件および評価方法

実験に使用した材料は、アルミニウム合金展伸材 A 2024、A 6061、A 7075を時効熱処理した丸棒材（φ50mm）である。これを表1に示す条件で微粒子ピーニングし、残留応力や硬さの変化を調べた。内部の残留応力については、電解研磨装置で電解エッチングした後、微小部X線応力測定装置で測定した。

疲労試験片は、A 7075合金をV字型の切欠材（直径8mm、切欠係数β=1.703）に加工した後、粉碎粉末 600と 1000の二段階の微粒子ピーニングを施した。疲労試験には、小野式回転曲げ疲労試験機（3400r.p.m）を用い、室温・大気中で行った。

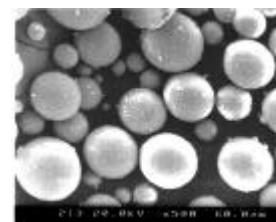
表1 微粒子ピーニング条件

ショット材その1（球状粉末）			
材質	メッシュサイズ	噴射圧力	噴射時間
SiO ₂	300,400,600	0.4MPa	20sec

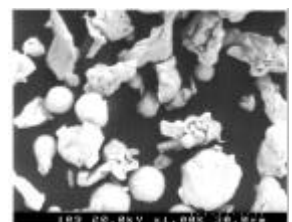
ショット材その2（粉碎粉末）			
材質	メッシュサイズ	噴射圧力	噴射時間
Al ₂ O ₃	600,1000	0.4MPa	20sec

表2 固体潤滑材のコーティング条件

ショット材質	メッシュサイズ	噴射圧力	噴射時間
Sn	400	0.4MPa	20sec
MoS ₂	400	0.4MPa	20sec
PTFE	400	0.4MPa	20sec



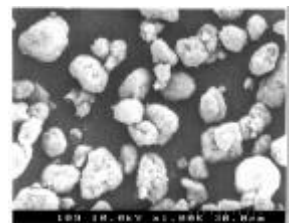
SiO₂ 400 (前処理用)



Sn



MoS₂



PTFE

写真1 固体潤滑材のSEM像

^{*1}技術支援部加工技術室

2.2 コーティング処理条件および評価方法

実験に使用したショット材のSEM像を写真1に示す。 SiO_2 は前処理として噴射し、潤滑材は、表2に示す条件でコーティングした。

付着物の定性・定量分析には、エネルギー分散型X線分光分析装置を用い、摩耗は、大越式摩耗試験(最終荷重21.3 N、摩擦速度1.09m/sec、摩擦距離100m、相手円板SKD 11)で調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 球状粉末を利用した場合の残留応力

鉄鋼材料では、残留応力の測定によって疲労寿命を推定しているので²⁾、アルミニウム合金においてもX線による残留応力の測定を行った。

図1は、アルミニウム合金の材質をA2024とした場合の残留応力分布である。未処理品の残留応力は表面・内部ともに - 20MPaであった。一方、微粒子ピーニングを施した試料の残留応力は最大 - 250MPaまで上昇した。

アルミニウム合金の材質をA6061とした場合の残留応力分布を図2に示す。微粒子ピーニングを施した試料の残留応力は最大 - 100MPa前後だった。

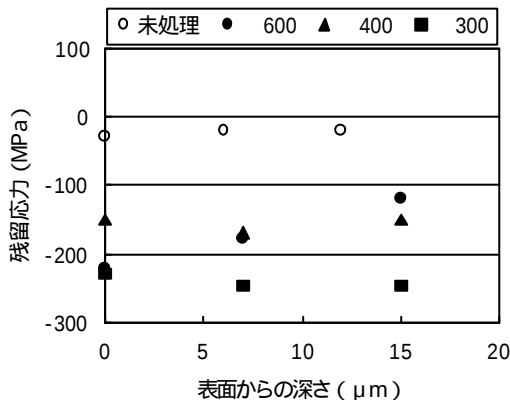


図1 残留応力に対するピーニング効果
素材：A2024 ショット材：球状粉末

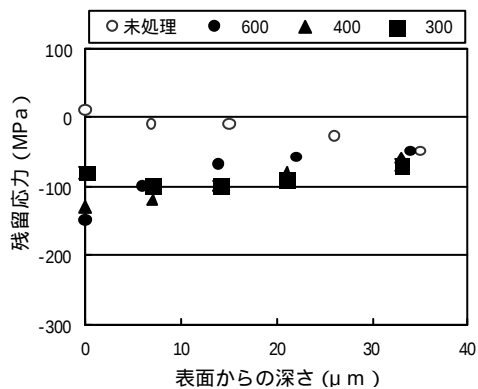


図2 残留応力に対するピーニング効果
素材：A6061 ショット材：球状粉末

同様にA7075とした場合の結果を図3に示す。600の微粒子を用いた場合は、表面の圧縮残留応力は - 220MPaと大きいとその影響層は約20μmであった。一方、300または400で処理した場合は、表面の圧縮応力は - 120MPa程度であるが、影響層は約30μmであり、大きな粒子を用いた場合には、表面より内部に圧縮残留応力のピークが移行する傾向が見られた。

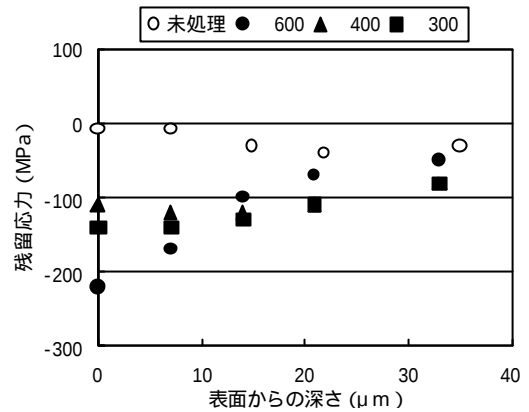


図3 残留応力に対するピーニング効果
素材：A7075 ショット材：球状粉末

3.2 粉碎粉末を利用した場合の残留応力の変化

図4は、A2024の残留応力分布を示したものである。アルミナによる微粒子ピーニング後の残留応力は - 300MPaまで上昇しており、球状粉よりやや残留応力が大きくなった。

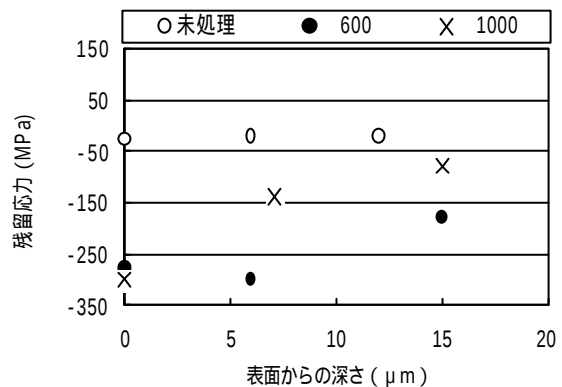


図4 残留応力に対するピーニング効果
素材：A2024 ショット材：粉碎粉末

アルミニウム合金の材質をA6061とした場合の結果を図5に示す。微粒子ピーニングによる残留応力は最大で - 200MPa前後と球状粉に比べて大幅に上昇した。

同様に、A7075とした場合の結果を図6に示す。1000の微粒子を用いた場合は、表面の圧縮残留応力は - 330MPaと大きい、試料内部へ入るにつれ急に圧縮残留応力は下がった。一方、600で処理した場合は、表面の圧縮応力は - 260MPaであるが、深さ7μmでピークの - 300MPa

Paに達した後、ゆるやかに圧縮残留応力は低下する傾向が見られた。

通常、材料はその表面から破壊するため、表面の圧縮残留応力を高めることが効果的であるが、表面強度が増すと内部を起点とする破壊形態に変わるため、表面および内部の圧縮残留応力を高めることが重要となる。そこで、600につづいて1000を噴射する二段階の微粒子ピーニング³⁾を行ったところ、1000と600の残留応力分布を重ね合わせたような分布形態にすることができた。

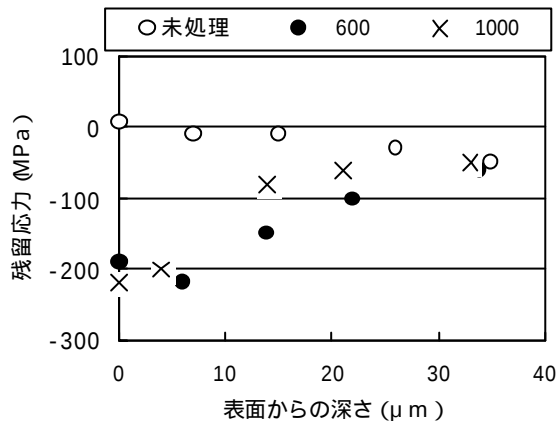


図5 残留応力に対するピーニング効果
素材：A6061 ショット材：粉碎粉末

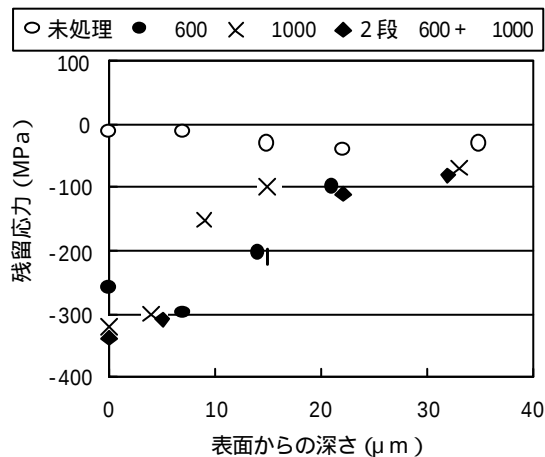


図6 残留応力に対するピーニング効果
素材：A7075 ショット材：粉碎粉末

鉄鋼材料において圧縮の残留応力の増加は疲労強度を上昇させるので、残留応力が最も大きい二段階の微粒子ピーニングを行ったA7075についても疲労強度の増加を期待して、小野式回転曲げ疲労試験機により切欠き試験片を用いて行った。図7に疲労試験結果を示す。繰返荷重が78MPaにおいては、未処理品の11.7倍に寿命延伸した。

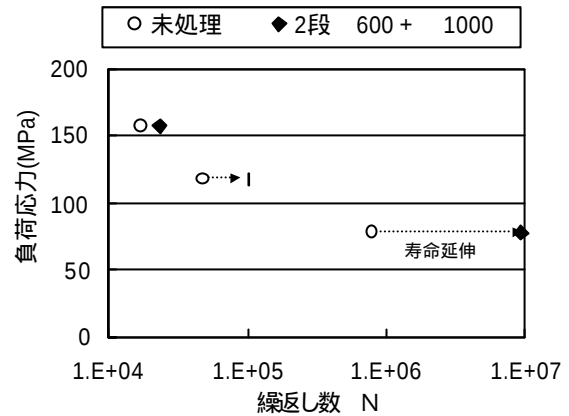


図7 疲労寿命に対するピーニングの効果
素材：A7075 ショット材：粉碎粉末

3.3 球状粉末を利用した場合の硬さの変化

図8は、A2024の硬さ分布を示したものである。未処理品に対し、ガラスビーズによる微粒子ピーニングを施したものは52HV0.01だけ硬度が上昇した。

アルミニウム合金の材質をA6061とした場合の硬さ分布を図9に示す。硬さの上昇は22HV0.01であり、本合金は、残留応力と同様に硬さも上昇しにくかった。

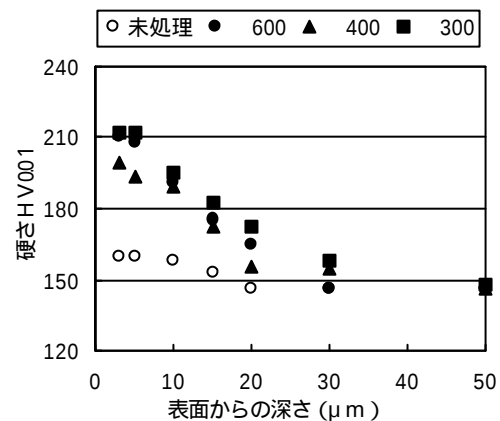


図8 硬さに対するピーニングの効果
素材：A2024 ショット材：球状粉末

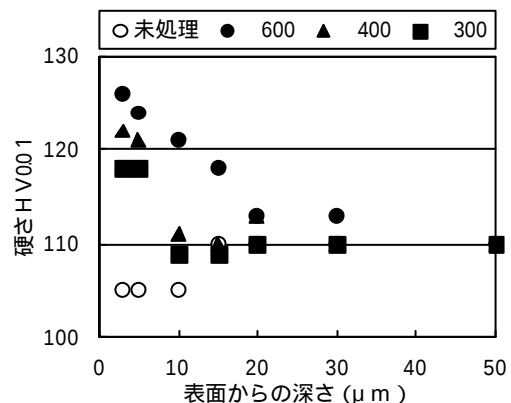


図9 硬さに対するピーニングの効果
素材：A6061 ショット材：球状粉末

また、A 7075へ処理した場合の結果を図10に示す。硬さの上昇は28HV0.01程度であった。

以上の結果から、A 2024は、今回の合金中もっとも硬さが上昇したが、これは添加元素であるCu（3.5%含有）の粒子分散効果により転位の動きを妨げた結果であると考えた⁴⁾。

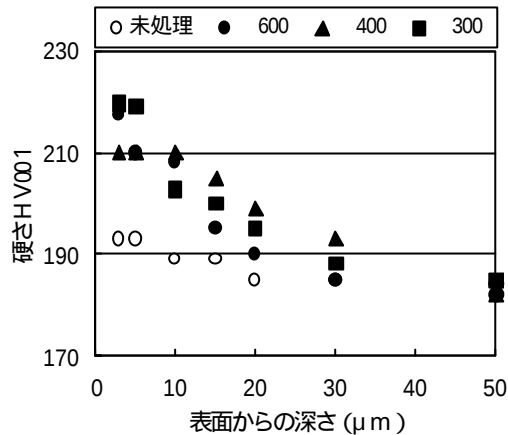


図10 硬さに対するピーニングの効果
素材：A 7075 ショット材：球状粉末

3.4 固体潤滑皮膜による耐摩耗性の向上

写真2は、各固体潤滑材をショットした場合の表面SEM像を示す。各粒子の安定な付着により、前処理のSiO₂の衝突で生じた凹凸が覆い隠されていることが分かった。

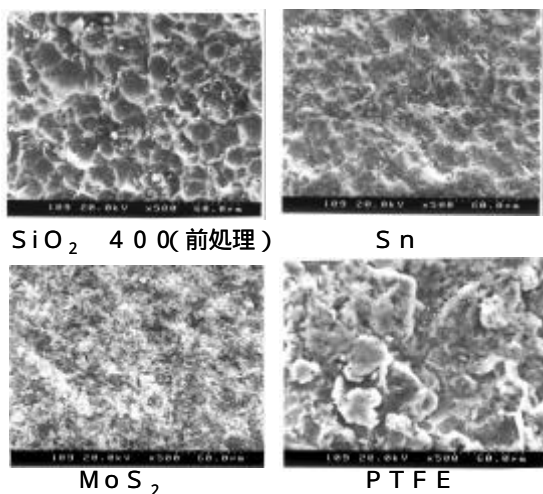


写真2 固体潤滑皮膜の表面SEM像

図11は、皮膜表面を定性・定量分析した結果を示す。付着量は、PTFE MoS₂ Snの順に増加した。

図12は摩耗試験結果である。前処理品は表面の加工硬化により⁵⁾、基材に比べて耐摩耗性が向上した。さらに、固体潤滑材をコーティングした場合には、PTFE MoS₂ Snの順に耐摩耗性が向上した。これは、付着量の順でもあった。

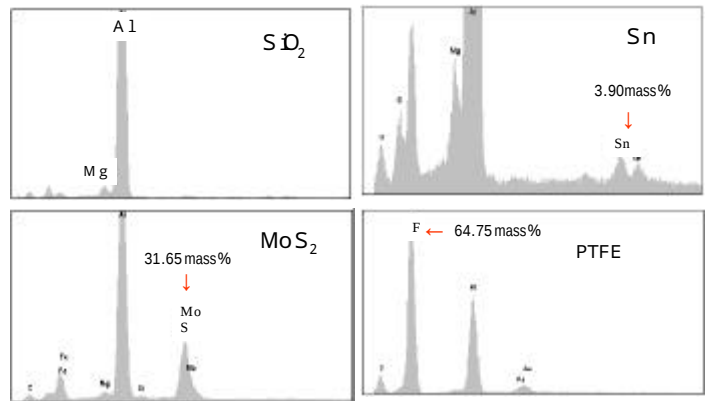


図11 固体潤滑皮膜の表面の定性・定量分析結果

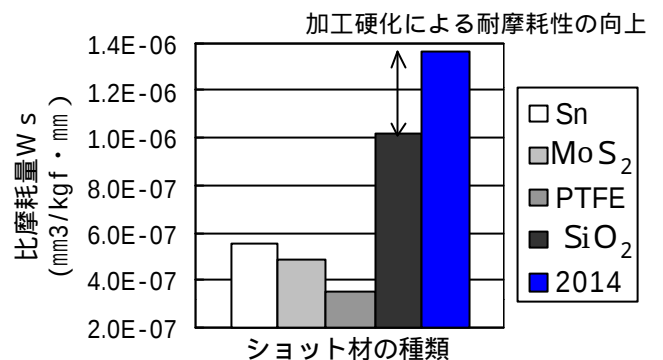


図12 固体潤滑皮膜の摩耗試験結果（大越式）

相手円板：SKD11(61HRC)、摩擦距離：100m
摩擦速度：1.09m/sec 最終荷重：21.3N

4. 結 び

自動車ボディとエンジン主要部のアルミ化は、現時点ではホンダ車やアウディ車の一部に実用化されている。しかし、アルミニウム合金の材料コスト、加工コストの点から、全車種への適用には大きな障害が残っている。しかし、エネルギー・環境問題を考えると輸送車両の軽量化は最重要課題であり、本研究のデータが、一助を担えればと期待している。

文 献

- 1) 片岡泰弘：表面技術，52，191(2001)
- 2) 後藤徹：機械の研究，28，971(1976)
- 3) 飯田喜介ら：ショットピーニングの方法と効果，p105(1997)
- 4) 斉藤安俊、渡邊慈朗：基礎金属材料，p116(1979)
- 5) 飯田喜介ら：ショットピーニングの方法と効果，p41(1997)