

表面加工による軽金属への制振特性付与技術の開発（第2報）

坂本智明・石黒輝雄・佐野正明・八代浩二・吉原正一郎^{*1}

Development of Improvement Tech on Damping Capacity for Light Metal by Surface Processing (2nd Report)

Chiaki SAKAMOTO, Teruo ISHIGURO, Masaaki SANO, Koji YATSUSHIRO and Shoichiro YOSHIHARA ^{*1}

要約

本研究では、将来的に輸送機器への活用が見込まれる軽金属に関してショットピーニング加工を施すことで、稠密六方晶の双晶変形を利用した制振特性を付与することを目的とした。純チタンにおいては、ショットピーニング加工により約1000 Hz以上の高周波数域で制振性能を向上させることが可能であった。また、チタン合金においても、ショットピーニング加工により制振性が向上することが確認された。チタン系材料については一部の自動車部品や航空機部品に対して、ショットピーニング加工による制振性能付与技術が活用出来る可能性がある。

1. 緒言

近年、輸送機械の現場では省エネルギー化の為に軽量かつ高強度な素材の使用が求められており、従来の鋼材から軽金属やCFRP等へ一部置き換わることが予想される。なかでも自動車や航空機においては、振動や騒音の低減機能も求められており、軽量かつ制振性の高い部材の開発が必要とされている。軽金属の中でもチタン系材料は、比強度が高く耐食性に優れている他、熱処理性、溶接性も良好でバランスが取れている材料である。航空機生産国では多量に使用されており¹⁾、制振特性付与のニーズは高い。また、マグネシウム系材料は軽量かつ制振性が高いが、更に制振性を付与することで、より競争力の高い製品開発が可能となる。

チタン系材料やマグネシウム系材料の組織は稠密六方晶であるが、稠密六方晶は塑性変形を伴う大きなひずみによって双晶変形が生じる。さらに、双晶組織を有することにより、外部から加えられた振動エネルギーを界面で摩擦によって消費されることが知られている²⁾（双晶型制振機構）。

そこで本研究では、チタン系材料やマグネシウム系材料という軽金属に関してショットピーニング加工を施すことで、稠密六方晶の双晶変形を利用した制振特性を付与することを目的とした。表面加工方法の一つであるショットピーニング加工は、小さな球状投射材を金属表面に投射することにより、表面に改質硬化を与え部品の疲

勞強度の向上を図る技術である。既に自動車部品や航空機関係においては耐久性の向上の為に用いられている³⁾。本研究では結晶構造を稠密六方晶とする軽金属におけるショットピーニング加工による制振効果を報告する。

2. 実験方法

2-1 試験片寸法と加工方法

材料は日本で流通量の多い純チタン（2種、JIS H 4600）、航空機の材料で使用頻度の高いチタン合金（Ti-6Al-4V）、自動車部品や電子機器部品に使用されているマグネシウム合金（AZ31）の圧延板を使用した。寸法は長さ250 mm（つかみしろ20 mm）、幅25 mmとし、テストピースの厚みを表1に示す。

表1 テストピースの種類

材質	板厚 (mm)
純チタン (2種)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
チタン合金 (Ti-6Al-4V)	1.0
マグネシウム合金 (AZ31)	1.0, 1.5

表2にショットピーニング加工条件を示す。投射圧力は板厚1.5 mmと2 mmについては0.6 MPaとしたが、板厚1.0 mmのテストピースでは反りが大きく生じたため、0.4 MPaの圧力で加工した。また、板厚0.5 mmの板材は投射圧力0.2 MPaとした。投射材は軽量で硬質な特徴を持つジルコニアボール（アズワン（株）製CZS 0060）を使用し、加工時間は片面2分30秒（両

*1 山梨大学

面5分)とした。また、ショットピーニング加工にはアネスト岩田キャンベル(株)製サンドブラスターCHB-600を使用し、テストピースからノズルまでの距離を100 mm 離れた状態で、テストピースの下に鉄板を敷いて加工した。

表2 加工条件

投射圧力	0.6 MPa (板厚1.5 mm, 2.0 mm) 0.4 MPa (板厚1.0 mm) 0.2 MPa (板厚0.5 mm)
投射メディア	ジルコニアボール 直径0.4~0.6 mm
加工時間	片面2分30秒 (両面5分)
投射距離	100 mm

2-2 損失係数測定方法

第1報⁴⁾では薄くて軽い軽金属の制振特性の測定方法を確立するため、各種測定方法による測定値への影響を検討した。予備実験の結果、図1に示す様な片側固定定常加振法により、高精度かつ2500 Hzまでの周波数域の測定が可能であることがわかったため、この方法により評価を行った。試験片端部30 mmを直接振動試験機(エミック(株)製F-1000BD-A)に固定し、可動部分に加速度ピックアップセンサを、試料先端にレーザー変位計((株)キーエンス製LK-H055)を配置し、共振周波数近くの周波数を掃引し半値幅法により損失係数を算出した。可動部の加速度は 0.1 m/s^2 とし、周波数範囲は2500 Hzまでとした。

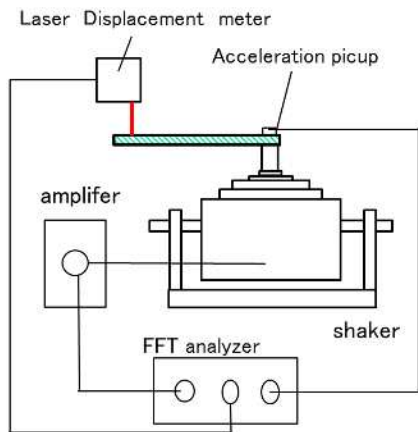


図1 片側固定定常加振法による測定方法の概略

2-3 組織観察

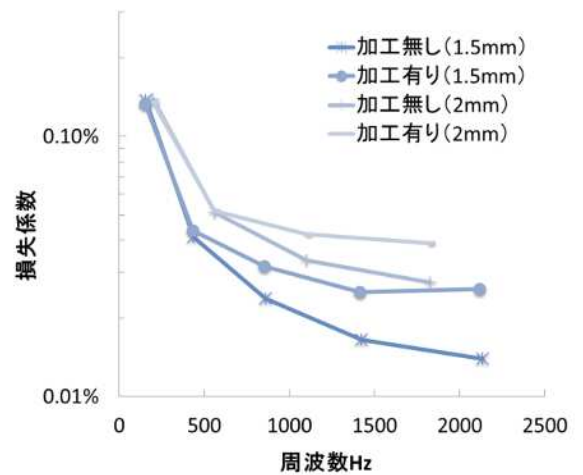
ショットピーニング加工後のテストピースの断面を観察した。試料切断機でテストピースを $8 \times 8 \text{ mm}$ 程度に細分化し、クロスセクションポリッシャ(日本電子(株)製, SM-09010)にて断面加工を行い、エッチング処理した。得られた断面をコンフォーカル顕微鏡(レーザーテ

ック(株)製, OPTELICS H1200)で観察した。

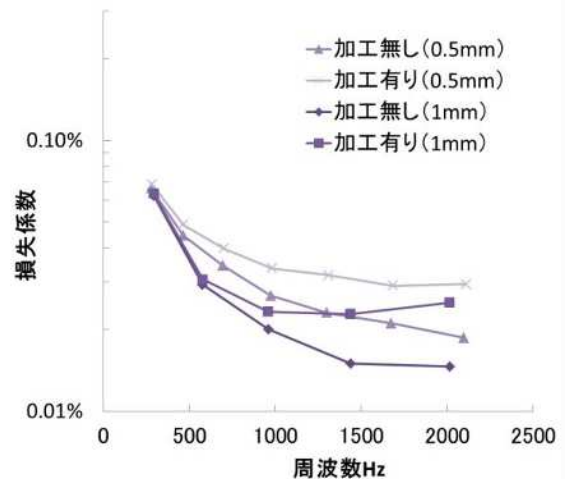
3. 結果と考察

3-1 純チタンの損失係数測定結果と組織観察

図2(a)に板厚1.5 mm, 2 mmの純チタン(2種)の結果を示す。ショットピーニング加工の投射圧力は0.6 MPaとした。板厚1.5 mmの場合にはショットピーニング加工を行うことにより、損失係数は30%~90%向上することが確認された。板厚2 mmの場合のショットピーニング加工の効果は、1.5 mmに比べ小さかった。そのため、同じ圧力条件で加工した場合には板厚が増す際には投射圧力を上げることで制振性の効果が増すと考えられる。図2(b)に板厚0.5 mm, 1 mmの純チタン(2種)における、損失係数測定結果と周波数の関係を示す。表2に示す投射圧力でショットピーニング加工を行うことにより、損失係数は20%~70%向上した。また、板厚0.5 mm~2 mmのすべての結果において無処理よりもショットピーニング加工を行った方が損失係数は上昇したが、共振周波数はほぼ変化しなかった。



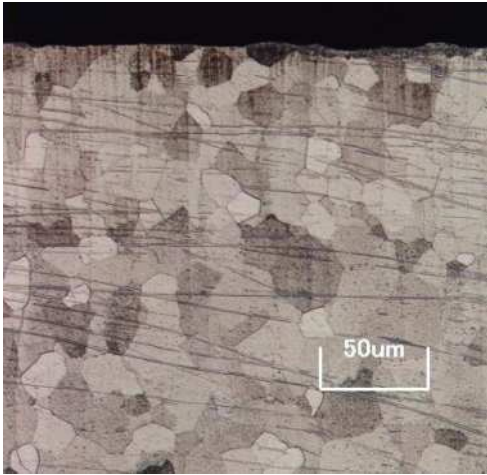
(a) 板厚1.5 mmと2 mmの測定結果



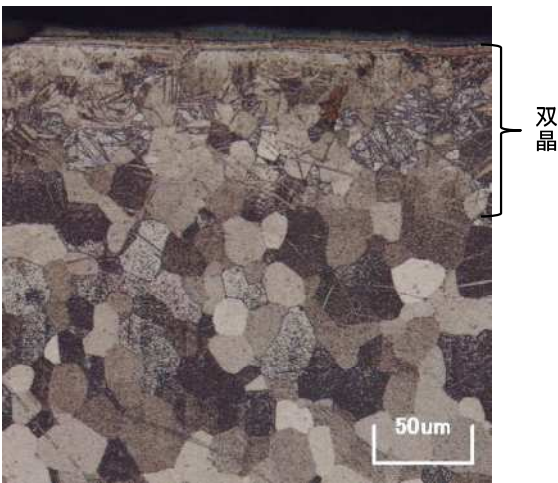
(b) 板厚0.5 mmと板厚1 mmの測定結果

図2 純チタンの損失係数測定結果

次に、1 mm 厚の純チタンの組織観察結果を図 3 に示す。(a) は加工無し (b) は加工有りのテストピース断面の組織観察結果である。今回の純チタンの受入材料の結晶粒径は約 10~40 μm 程度であった。加工後では表面より深さ 50 μm にかけて結晶粒が微細化されていることが確認された。この加工による結晶粒の微細化は双晶組織の生成と考えられ、この領域での双晶組織により制振性が向上したと考えられる。



(a) ショットピーニング加工無し



(b) ショットピーニング加工有り

図 3 純チタンの組織観察結果

3-2 チタン合金の損失係数測定結果と組織観察

図 4 に板厚 1 mm のチタン合金 (Ti-6Al-4V) における、損失係数測定結果と周波数の関係を示す。ショットピーニング加工の投射圧力を 0.4 MPa とした。ショットピーニング加工を行うことにより、損失係数は 20%~40%向上することが確認された。図 2 (b) の板厚 1 mm の純チタン結果と比較すると、ショットピーニング加工による制振効果は小さかった。また、共振周波数はほぼ変化しなかった。

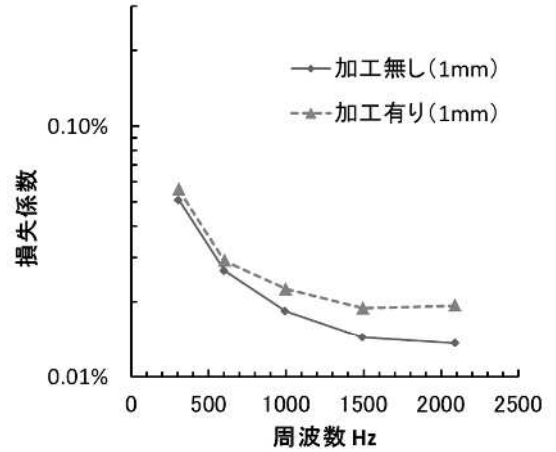


図 4 チタン合金 (Ti-6Al-4V) の損失係数測定結果

次に、1 mm 厚の Ti-6Al-4V の受入状態 (加工無し) の組織観察結果を図 5 に示す。Ti-6Al-4V の結晶の粒径が約 2~5 μm 程度で純チタンに比べると約 10 分の 1 であった。加工無しの状態と加工有りの状態では、金属組織の違いはほとんど見られなかった。Ti-6Al-4V は六方晶+体心立方晶であるため双晶の範囲が狭い可能性があると考えられる。また、粒径自体も 2~5 μm と純チタンに比べ小さいことから双晶自体が小さいという報告もある⁵⁾。

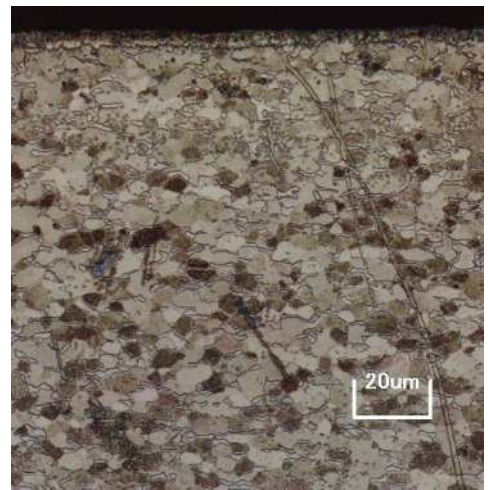


図 5 チタン合金 (Ti-6Al-4V) の組織観察結果

3-3 マグネシウム合金の損失測定結果と組織観察

図 6 に板厚 1 mm および 1.5 mm のマグネシウム合金 (AZ31) の損失係数測定結果と周波数の関係を示す。純チタンやチタン合金に比べてショットピーニング加工の影響は小さいが、損失係数は最大で 12%増加した程度であった。

次に、ショットピーニング加工を行った 1 mm 厚の AZ31 の組織観察結果を図 7 に示す。加工後 (b) では

表面より深さ 100 μm にかけて結晶粒が微細化されていることが確認された。制振性への影響が小さかったのは、振幅が 0.1 m/s^2 と小さい為、大きい振幅については双晶の影響により損失係数がより増加する可能性がある²⁾。

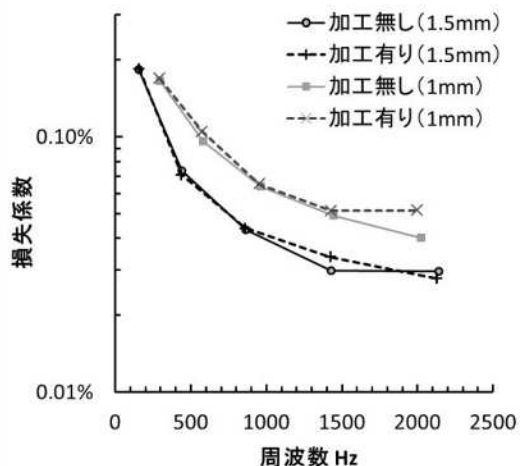


図6 マグネシウム合金 (AZ31) の損失係数測定結果

5. 結言

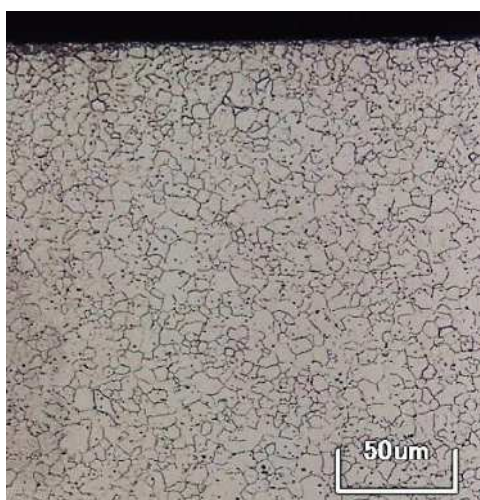
ショットピーニング加工による制振性能付与を試みたところ、以下の知見を得た。

- 1) 純チタンに対しては約 1000 Hz 以上の周波数域において制振性が向上した。また、表面から 50 μm の範囲に双晶組織が確認された。
- 2) 同じ投射圧力の条件で板厚を増した場合、板厚が増すにつれて損失係数の増加率は小さくなった。
- 3) チタン合金は制振性能が向上したが、同じ板厚の純チタンに比べて加工による影響は小さかった。
- 4) マグネシウム合金に対しては表面に双晶が生じていたが、純チタン・チタン合金に比べて制振性の変化は小さかった。
- 5) 今回行ったすべての材料において共振周波数はほぼ変化せず、動剛性自体はほぼ変わらなかった。

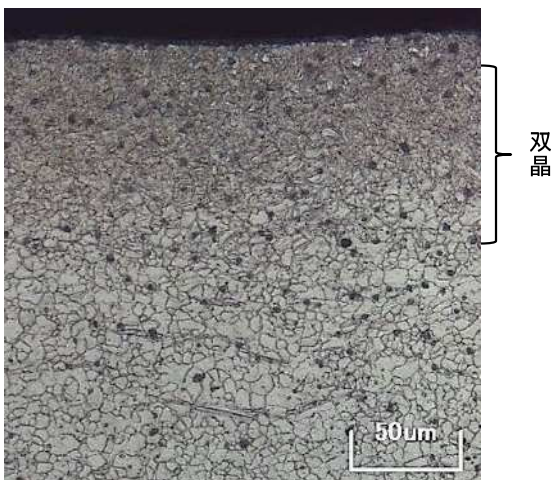
以上の結果からチタンについては一部の自動車部品や航空機部品に対して、ショットピーニング加工による制振性能付与技術が活用出来る可能性がある。

参考文献

- 1) 「金属チタンとその応用」編集委員会編：金属チタンとその応用（日刊工業新聞社），pp.41-107（1983）
- 2) 景山洋，嶋津公志，鎌土重晴，小島陽：Mg-Al 系合金の減衰能に及ぼす合金元素量および熱処理の影響，軽金属，Vol.48，No.5，pp.217-221（1998）
- 3) ショットピーニング技術協会：ショットピーニングとは
<<http://shotpeening.gr.jp/shotpeening/index.html>>
- 4) 坂本智明，他：表面加工による軽金属への制振特性付与技術の開発ー測定方法が損失計数値の信頼性に及ぼす影響ー，山梨県工業技術センター研究報告 No.31（2017）
- 5) 田中博，堀内良：チタンおよびチタン合金における双晶形成と Acoustic Emission，東京大学宇宙航空研究所報告，Vol.11，No.2（A）（1975）



(a) ショットピーニング加工無し



(b) ショットピーニング加工有り

図7 マグネシウム合金 (AZ31) の組織観察結果