

汎用エンブラを利用した高機能クラッド容器成形技術の開発

兵庫県立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

教授 原田 泰典

(平成 25 年度一般研究開発助成 AF-2013002)

キーワード：深絞り加工，板材成形，クラッド

1. 研究の目的と背景

我が国では 21 世紀に入ってから、エネルギー節減型社会の構築に向けた工業製品の軽量化や小型化が急速に取り組まれている。金属材料では、アルミニウム、マグネシウムおよびチタンのような軽金属が注目されている。アルミニウム材料やマグネシウム材料では、実用軽金属として多くの製品があり利用範囲が広がっている。例えば、航空機や自動車などの搬送機器の部材として、またノートパソコン携帯電話などの電子機器における筐体として、広く利用されている¹⁾。一方、チタン材料(比重 Ti:4.54)の場合、鉄鋼材料(比重 Fe:7.87)に比べると軽量ではあるが、アルミニウム材料(比重 Al:2.70)やマグネシウム材料(比重 Mg:1.74)に比べると重い。しかしながら、軽金属材料の中では最も耐食性が優れていることが大きな特徴である。そのため、古くから化学工業分野での厳しい環境下で使用される製品として利用されている²⁾。最近では、航空機や電力などの特定分野に限らず、建築品、民生品、スポーツ用品など幅広い分野まで利用範囲が拡大している。また、人体へのアレルギーもほとんどないため、人体に接触する介護製品や人体中への埋込用生体材料への適用が進められている^{3), 4)}。

このように、アルミニウム材料、マグネシウム材料、チタン材料において、軽量化を図るための材料開発や薄肉化が進められている。しかしながら、プレス成形性を考慮した場合は新素材の開発や容器薄肉化には限界がある。また、プレス成形によって作製される容器自体の機能が求められている。例えば、機能性クラッド容器がある。異種金属同士を重ね合わせた構造によって、耐食性や高強度などの機能性を有するため、幅広い分野で実用化が進んでいる^{5), 6)}。高耐食性の場合、チタンクラッド材があり、化学や石油産業などで利用されているチタン材料を含むことで軽量かつ高耐食性を有するのが特徴である。これはチタン表面に形成する酸化物は非常に安定で侵されにくく空気中では不動態となるため、この酸化物は白金や金とほぼ同等の強い耐食性を持つことが知られている。さらに、室温での酸や食塩水などに対しても高い耐食性を示し、少量の湿気が存在する場合は塩素系ガスとも反応しない性質を有している。実用化されているチタンクラッド材は、炭素鋼板や耐食性のあるス

テンレス鋼との組み合わせで利用されている場合が多い。しかし、深絞り加工のようなプレス成形において、圧延や圧接などで作製したチタンクラッド材の成形が困難であることやチタンと組み合わせる材質に制限があることなどの課題が多い。さらに、チタンはステンレス鋼に比べてヤング率が小さいためにチタン単一板の成型加工では大きなスプリングバックを生じる問題もある。一方、金属と樹脂を組み合わせた機能性クラッド材も利用されている。例えば、制振鋼板のように樹脂を鋼板で挟んだクラッド板は実用化されている。しかし、アルミニウムやチタンのような非鉄金属との組み合わせたクラッド板の利用は建材としては利用されているけれども、プレス成形性を考慮した非鉄金属と樹脂を複合したクラッド板の利用も少ない。

本研究ではこれまでに少なからずチタン材料やマグネシウム材料のような軽金属材料に対してプレス成形を行っており、おもに室温での冷間深絞り加工による薄板からの容器成形を試みている^{7), 8)}。マグネシウム材料の場合、リチウムを所定の量で添加すると、面心立方格子の結晶構造を有するベータ型マグネシウム合金となり、この合金は室温延性を示すので深絞り加工が可能となる。さらに、リチウムの比重は約 0.53 で非常に軽いため、通常の実用マグネシウム合金よりも約 20%程度軽量であることが知られている^{9), 10)}。このようにチタン材料やマグネシウム材料から容器の成形を試みているが、さらに容器の付加価値を高めるため、異種金属を組み合わせたクラッド容器の成形も試みている。圧延や圧接などの圧縮加工による接合で作製されたクラッド板を用いた成形ではなく、単に異種金属板を重ねた状態で深絞り加工を行い、成形と同時にクラッド容器の成形を行っている。これまでに、耐食性を高めるため、軟鋼とチタン、銅合金とステンレス鋼などの組み合わせによるクラッド容器の成形を行っている。また、軽量化のため、アルミニウム材料やマグネシウム材料を用い、チタンとアルミニウム、マグネシウムとアルミニウム、チタンとマグネシウムなどの組み合わせによるクラッド容器の成形も試みている。さらに、軽金属を組み合わせたクラッド容器に対して、さらなる軽量化、高強度化、防振化、絶縁化などの機能性付与を探るため、樹脂を組み合わせた積層板からのク

ラッド容器の深絞り加工を検討している。予備試験ではあるが、金属と樹脂を組み合わせたクラッド容器の成形の可能性があるとわかった。そこで、本研究では容器軽量化のため、深絞り加工による樹脂である汎用エンブレと金属の積層板からの機能性クラッド容器の成形を行い、容器破断を生じない良好な成形性について調べた。

2. 実験方法

2.1 実験材料

試験材料は、金属板として純チタン JIS1 種(板厚 0.2 mm, 板厚 0.3 mm), 純チタン JIS2 種(板厚 0.5 mm)およびマグネシウム合金 LA141(板厚 0.5 mm)の圧延薄板を、また樹脂板は汎用エンブレとしてポリカーボネイト薄板(板厚 0.5 mm)を用いた。ここで、リチウム含有マグネシウム合金は、ASTM 規格 LA141 である。主な添加元素の組成は、13.56Li, 0.96Al, 0.29Ca, 0.005Zn, 0.017Si(mass%)である。合金インゴット 150×400×1200 mm から熱間及び冷間の圧延によって板厚 0.5 mm の薄板を作製した。深絞り用ブランクは各薄板から φ70 mm を切り出した。チタン薄板では工具との焼付きを防止するため、一部のブランクに対して酸化皮膜処理を施した。このチタン表面に形成する酸化皮膜は工具との焼付きが発生しないので焼付き防止には効果がある。また、チタン表面へ強固に被覆できる。酸化皮膜処理は電気炉を用い、大気中、加熱保持温度 923 ~ 973 K で保持時間 3.6 ~ 7.2 ks の条件で行った。積層板の成形は、異種ブランクを 2 層または 3 層重ねた状態で深絞り加工を行った。図 1 に、3 層積層板の深絞り加工方法を示す。積層板は汎用エンブレであるポリカーボネイト薄板を金属薄板でサンドイッチする 3 層構造である。ブランク同士は、単に重ねた状態で接着や接合はまったく行っていない。

2.2 深絞り加工

深絞り加工は油圧万能試験機を用いて行った。深絞り加工では、直径 40 mm のパンチと穴直径 42 mm のダイを用い、室温、容器絞り比 1.67、クリアランス 1.0 ~ 1.5 mm の条件で行った(表 1 参照)。パンチ肩半径は 3 mm、ダイス肩半径は 4 mm である。しわ押え力は 10 ~ 20 kN で、加工速度は約 10 mm/min である。図 2 に、積層板の深絞り加工装置の概略を示す。しわ押え力はばねの反力で付与し、油圧万能試験機によってパンチに負荷して積層板を成形する。

3. 研究成果

3.1 チタン JIS1 種の酸化皮膜処理

純チタンの焼付き防止方法として、低コストで簡便な大気酸化皮膜処理を行うことを前章で述べた。これまでの研究において、チタン JIS2 種では最適な熱処理条件が得られており、深絞り加工において有効であることをす

で得ている。しかしながら、純チタン JIS1 種における適切な酸化皮膜処理条件は明らかになっていない。そこで、チタン JIS1 種における最適な熱処理条件を調べた。その結果、加熱温度 700 °C、保持温度 1.8 ks ~ 7.2 ks の熱処理条件において、焼付きを生じない深絞り加工が可能であることがわかった。オージェ電子分光法によって酸化皮膜厚さを調べた結果、JIS1 種における熱処理前は厚さ 6.38nm、熱処理後は 700°C-1.8ks で厚さ 631nm、700°C-7.2ks で厚さ 1340nm であった。

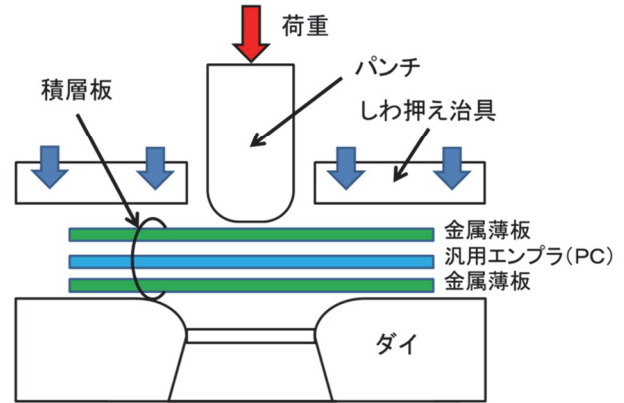


図 1 3層積層板の深絞り加工方法

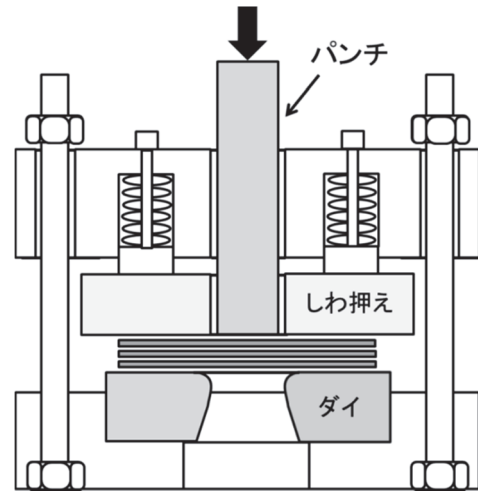


図 2 深絞り加工装置の概略

表 1 深絞り加工条件

加工段数		1st
絞り比		1.67
ダイス	材質	SKD11
	穴径	42
	肩部半径	4
パンチ	材質	S50C, SUJ2
	外径	40
	先端部半径	3

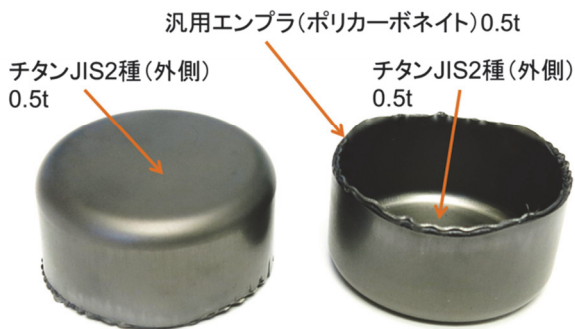


図3 3層積層板のクラッド容器
(総板厚 1.5mm の積層板)

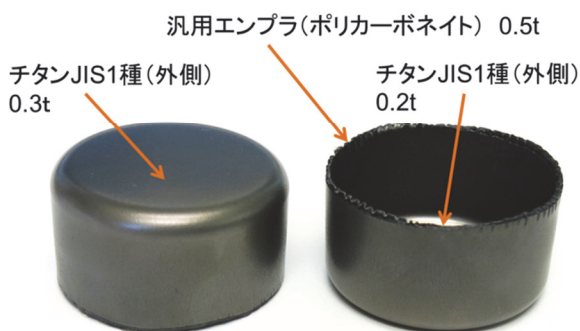


図4 3層積層板のクラッド容器
(総板厚 1.0mm の積層板)

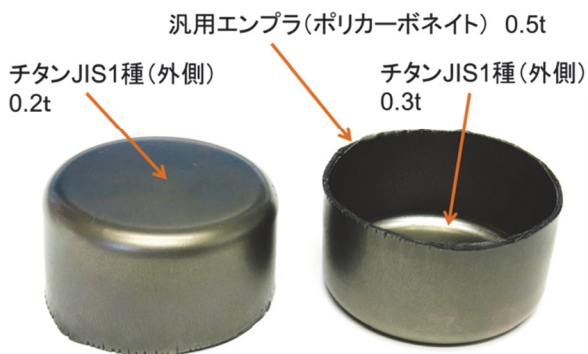


図5 3層積層板のクラッド容器
(総板厚 1.0mm の積層板)

3.2 チタンクラッドの深絞り成形性

純チタン薄板において、汎用エンブラであるポリカーボネイトをサンドイッチした3層積層板の深絞り加工性を調べた。図3に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.5mmのチタン薄板でサンドイッチした積層板を深絞り加工した容器の外観を示す。チタン薄板はJIS2種で、積層板の総板厚は1.5mmである。容器開口部にはし

わの発生が見られる。このしわの発生は、容器開口部の成形中にはしわ押え力を付与できないためである。しかし、容器自体には底割れや壁割れなどの破断は見られず、また工具との焼付きや表面の荒れもなく、クラッド容器の成形性は良好であることがわかった。

次に、積層板の総板厚を減少させて深絞り加工を行った。図4に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.2mmと0.3mmのチタン薄板でサンドイッチした積層板を深絞り加工して成形した容器の外観を示す。チタン薄板はJIS1種で、積層板の総板厚は1.0mmである。容器外側のチタン薄板の板厚は0.3mmである。チタン薄板の板厚を減少させても、成形性は良好であることがわかった。

次に、容器外側と内側であるチタン薄板の板厚を変化させた3層積層板に対して深絞り加工を行った。図5に、容器外側のチタン薄板板厚を0.2mm、容器内側の板厚0.3mmとして成形した容器の外観を示す。ポリカーボネイト薄板の板厚は0.5mmで、積層板総板厚は1.0mmである。容器外側となるチタン薄板を薄くした3層構造の積層板の成形であったが、成形後の容器は破断することなく良好な成形性が得られることがわかった。

3.3 容器断面観察

前節において、3層積層板からのクラッド容器の成形は可能であり、良好な成形性を示すことがわかった。しかし、積層板の中央に配置したポリカーボネイト薄板の成形状態は不明である。そこで、クラッド容器の断面を観察した。図6に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.5mmのチタン薄板でサンドイッチした3層積層板を深絞り加工した容器における底部付近の断面を示す。チタン薄板はJIS2種で、容器外側となるチタン薄板のみ大気酸化皮膜処理を施した。積層板総板厚は1.5mmである。容器底部付近において、容器外側および内側のチタン薄板、ポリカーボネイト薄板ともに空隙もなく密着しており、破壊も見られないことがわかる。ポリカーボネイト薄板において、板厚の大きな減少は見られない。同様に、容器の側壁部においても破壊は見られなかった。

次に、積層板の総板厚を減少させて深絞り加工を行った容器の断面観察を行った。図7に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.2mmおよび0.3mmのチタン薄板でサンドイッチした3層積層板を深絞り加工した容器における底部付近の断面を示す。チタン薄板はJIS1種で、積層板総板厚は1.0mmである。容器外側のチタン薄板の板厚は0.3mmである。各薄板において、破断は見られないことがわかる。

次に、容器外側と内側のチタン薄板の板厚を変化させた容器の断面観察を行った。図8に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.2mmおよび0.3mmのチタン薄板でサンドイッチした3層積層板を深絞り加工した容

器における底部付近の断面を示す。チタン薄板はJIS1種で、積層板総板厚は1.0mmである。容器外側のチタン薄板の板厚は0.2mmである。各薄板において、破断は見られないことがわかる。

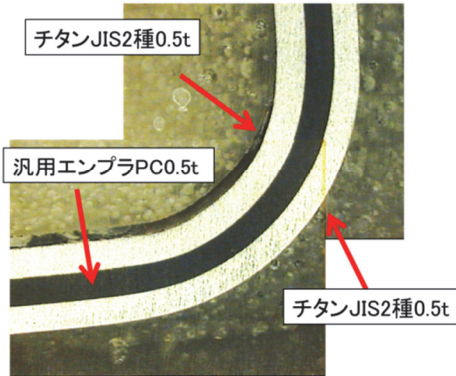


図6 クラッド容器底部付近の断面
(総板厚 1.5mm の積層板)

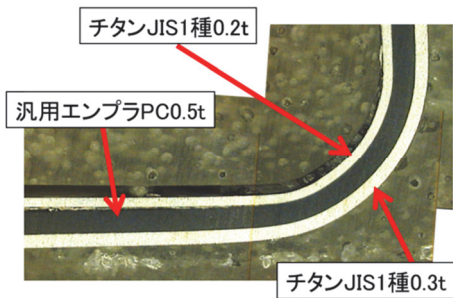


図7 クラッド容器底部付近の断面
(総板厚 1.0mm の積層板)

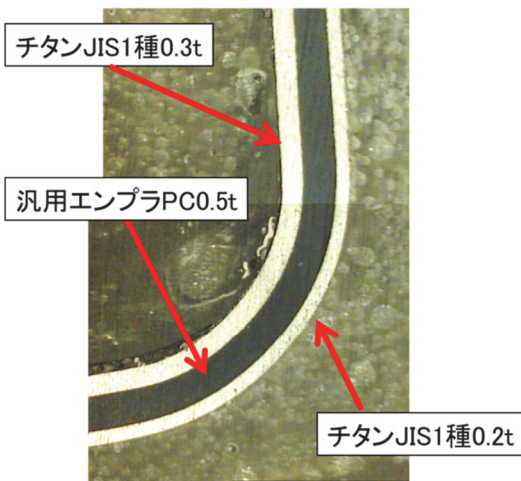


図8 クラッド容器底部付近の断面
(総板厚 1.0mm の積層板)

3.4 容器肉厚分布

深絞り加工では容器底部のコーナ部で板厚の減少が生じ、開口部では逆に増肉することがよく知られている。そこで、容器を構成している各薄板における肉厚分布を調べるため、容器底部コーナ部を中心として板厚測定を行った。板厚測定は、デジタルポイントマイクロメーターによって容器底部中心から開口部まで行った。図9に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.5mmのチタン薄板でサンドイッチした積層板を深絞り加工した容器の肉厚分布を示す。チタン薄板はJIS2種で、積層板の総板厚は1.5mmである。容器外側であるチタン薄板の場合、容器底部付近で最も肉厚減少が見られ、約9%である。しかし、クラッド容器の総板厚における底部コーナ部での減少率は5%以下で、また開口部での増肉量は約5%である。

次に、積層板の総板厚を減少させて深絞り加工を行った容器における肉厚分布を調べた。図10に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.2mmおよび0.3mmのチタン薄板でサンドイッチした3層積層板を深絞り加工した容器における肉厚分布を示す。チタン薄板はJIS1種で、積層板総板厚は1.0mmである。容器外側のチタン薄板の板厚は0.3mmである。容器底部コーナ部において、容器外側であるチタン薄板の肉厚減少が大きく、約10%である。しかし、容器自体の底部コーナ部での肉厚減少率は小さく、約4%である。

次に、容器外側と内側のチタン薄板の板厚を変化させた容器の肉厚分布を調べた。図11に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.2mmおよび0.3mmのチタン薄板でサンドイッチした3層積層板を深絞り加工した容器における肉厚分布を示す。チタン薄板はJIS1種で、積層板総板厚は1.0mmである。容器外側のチタン薄板の板厚は0.2mmである。容器外側であるチタン薄板の肉厚減少が最も大きく、約8%である。容器の内外の板厚を増加させて外側の板厚を減少させたことにより、容器底部コーナ部における肉厚減少は僅かに小さくなることがわかった。

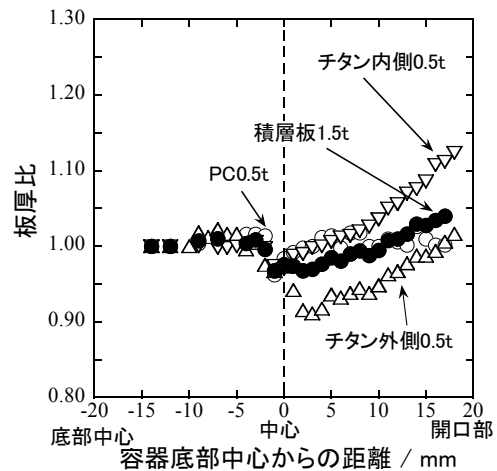


図9 クラッド容器の肉厚分布
(総板厚 1.5mm の積層板)

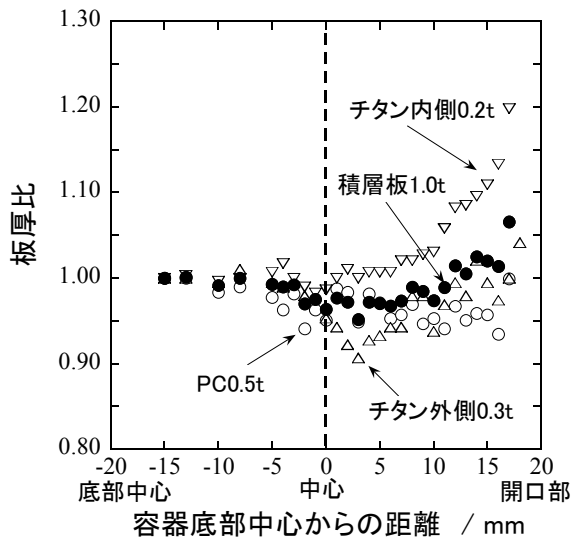


図10 クラッド容器の肉厚分布
(総板厚 1.0mm の積層板)

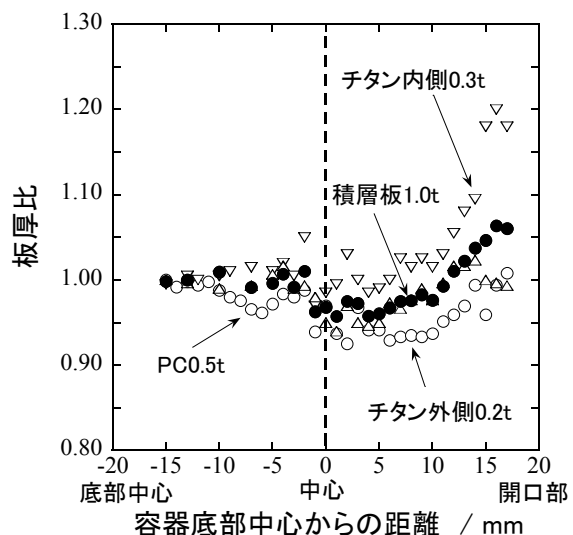


図11 クラッド容器の肉厚分布
(総板厚 1.0mm の積層板)



図12 3層積層板のクラッド容器
(総板厚 1.5mm の積層板)

3.5 マグネシウム合金クラッドの深絞り成形性

軽金属の中では最も比重が小さいマグネシウム合金を用い、汎用エンブラとの組み合わせで積層板の深絞り加工性を調べた。図12に、板厚0.5mmのポリカーボネイト薄板を板厚0.5mmのマグネシウム合金LA141薄板でサンドイッチした積層板を深絞り加工した容器の外観を示す。積層板総板厚は1.5mmである。容器には底割れや壁割れなどの破断は見られず、クラッド容器の成形性は良好であることがわかった。今後、総板厚を減少させた積層板における成形性について調べる計画である。

4. 結論

金属と汎用エンブラを組み合わせた積層板の深絞り加工を行い、その容器の成形性について調べた。その結果、汎用エンブラとして用いたポリカーボネイト薄板を純チタンやマグネシウム合金の金属薄板でサンドイッチした積層板の深絞り加工において、底割れや壁割れなどの破断のない容器の成形が可能であることがわかった。また、容器肉厚断面の観察から、金属薄板でサンドイッチされたポリカーボネイト薄板の成形性も良好であることがわかった。また、容器肉厚分布の測定から、容器底部コーナ部での減少が見られたが、その減少率は小さいことがわかった。以上より、本手法によって軽量化、高強度化、防振化、絶縁化などの機能性容器作製の可能性が高いことがわかった。今後、深絞り加工を繰り返す多段深絞り加工を行い、クラッド容器の成形性について調べる計画である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、公益財団法人天田財団の平成25年度一般研究開発助成を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Palumbo G. : Mater. Des., 44 (2013), 365-373.
- 2) Mochizuki H. et al. : Wear, 262 (2007), 522-528.
- 3) Mohseni E. et al. : Ceram. Int., 41 (2015), 14447-14457.
- 4) Tavares A.M.G. et al. : J Mech. Behav. Biomed Mater., 51 (2015), 74-87.
- 5) Sun T. et al. : J Mater. Eng. Perform., 24 (2015), 1426-1433.
- 6) Yazdani M. et al. : J Mater. Eng. Perform., 24 (2015), 4032-4043.
- 7) Harada Y. et al. : Materials Science Forum, 654-656 (2010), 1307-1310.
- 8) Harada Y. et al. : Materials Science Forum, 706-709 (2012), 1164-1169.
- 9) Chakravorty C. R. : Bull Mater. Sci., 17 (1994), 733-745.
- 10) Al-Samman T. : Acta Mater, 57 (2009), 2229-2242.