

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420056

研究課題名(和文)自動車軽量化のためのチェーン状MHS成形体のロータリープレス加工法確立と特性調査

研究課題名(英文)Development of rotary pressing for ball-chain type MHS and mechanical property test of the structure

研究代表者

吉村 英徳 (Yoshimura, Hidenori)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：30314412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：H25～H27年度を通し、チェーンボール状中空金属球(MHS)を作製し、それを固化成形する新ポーラス金属を開発するとともに、チェーンボール状MHSの安価かつ高速、比較的高精度に生産する方法として、ロータリープレス加工法の検討を行ってきた。チェーンボール状MHSおよびその成形体の開発および機械的特性評価は終了し、製造プロセスについてはおおそ第1工程のブランキングを除いておおそ確立できた。しかし、ブランキングから始まるため、いつまでもワイヤーカットでブランキング材を試作するのではなく、低価格・高速生産に向け、急ぎブランキング法を確立するとともに、大型ファンドの採用を目指して、まい進したい。

研究成果の概要(英文)：In order to reduce weight of cars and improve the rigidity and the collision safety, as a material technique, a new ultra-light porous metal has been developed. The conventional porous metals like foamed aluminum or metallic hollow sphere (MHS) structure have some problems on the process cost, homogeneity and controllability of material and tensile and bending strength. So, we proposed a ball-chain type MHS structure to solve them. Since the hollow spheres used in this structure are precisely and inexpensively mass-produced by metal sheet forming using a punch and die, the structure is very homogenous and the production cost is lower. By changing the dimensions of a punch and a die and metal sheet thickness, size of hollow spheres can be easily changed to be able to control the performance widely. The spheres are point-connected in the conventional MHS structure, while the proposed spheres are strongly connected by a wide bridge and the tensile and bending strengths are also high.

研究分野：塑性加工

キーワード：ポーラス金属 中空金属球 固化成形体 圧縮特性 曲げ特性

1. 研究開始当初の背景

自動車等輸送機器において、地球温暖化ガス CO2 排出量削減のための燃費向上策の一つとして車体軽量化がある。しかし、単純に使用材料を軽減するだけでは、剛性或強度が低下し、走行性能や衝突安全性に問題となる。したがって、車体軽量化と剛性および衝突安全性の向上を同時に解決できる高機能構造材料技術として、高比剛性、高エネルギー吸収性を有する超軽量多孔質のポーラス金属材料が注目されている。しかしながら、既存のポーラス金属材料には、高コスト、気孔のばらつきによる低信頼性、セル構造すなわち材料機能の制御性の低さ、低引張り強度による曲げ衝撃吸収部材への適用の非可能性から、安全性およびコストにシビアな自動車への適用は進んでいない。したがって、超軽量ポーラス金属において、低コスト化、均質性、性能制御性、高引張り強度を改善した新材料とその製造法を確立する必要がある。

自動車に適用できる発泡アルミニウム等従来品超軽量ポーラス金属は閉気孔(クローズドセル)を含むセル構造とされており、主に発泡アルミニウムと中空金属球成形体の2種類がある。前者は溶融アルミニウムに発泡剤(水素化チタン)を混入して発泡させるもので、発泡剤からのガスによって気孔が形成されるため、気孔のサイズが制御できず、不均質である。後者は、それを改善するために研磨した発泡スチレン球に金属粉末を塗り、炉内で加熱焼成して、粉末同士を焼結するとともに発泡スチレンを焼失させて作るもので、発泡スチレン球は均一であるが、焼成工程で数10%収縮するため、中空球サイズは完全ではなく、かつ直径/肉厚比のレンジが狭い。また、発泡剤および金属粉末が高価であり、kgあたり数万円~数十万円である。これらを改善するには、金型を用いるため精度が良く、大量生産性・低コストに優れた塑性加工を適用することが解決法の一つである。

2. 研究の目的

上記背景から、本課題研究者は、既に塑性加工により成形中空球を作る2種類の方法を提案し、特許も取得しているが、まだそれぞれコスト面、低引張り強度の面で自動車メーカーの要望に満足できておらず、さらに改善する必要がある。

中空球は、金型(パンチおよびダイ)を用いた順送りプレス加工により安価にかつ大量生産できる。一方、成形中空球を固化成形するには、接着成形、加熱焼成、ロウ付けがあるが、いずれにせよ球同士は点接触であり、引張り強度が低く、曲げ部材に適用できないため、中空球の材料を薄板材から打抜く(ブランキング)時に、球ごとに材料(ブランク)に打抜くのではなく、図1のように、ブリッジで繋げたブランクとし、それをプレス加工してボールチェーン状にすることで引張り強度を向上する方法を提案する。これをロウ付け等により、図2のように積層固化成形す

れば、鎖状方向を部材長手方向とすることによって、曲げ外側の引張り変形に耐え、ピラーやボンネット等曲げ衝撃吸収部材への適用も可能となる。また、外套材に中空球を流し込むだけでなく、積層が厳密にでき、より均質にしたり、鎖状方向を変更することで、異方性を制御することも可能となる。

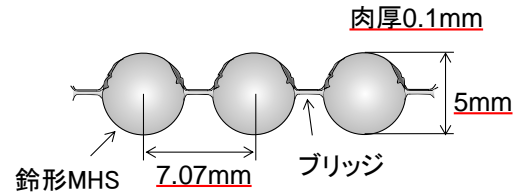


図1 提案するボールチェーン状中空金属球列

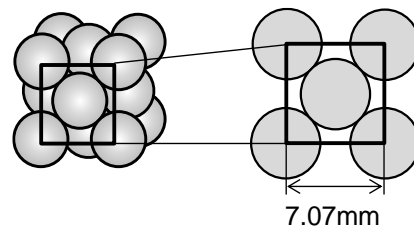


図2 本中空金属球列の積層固化構造

一方、製造方法であるが、順送りプレス可能でも、自動車メーカーの要求する価格に近くできるが、より生産性を高め、低コスト化を図る必要がある。その手段として、ロータリープレス加工の適用を行い、ボールチェーン状中空球の製造方法を検討する。

以上、ボールチェーン型中空球成形体の新ポーラス金属材料の開発とその製造方法の確立が本研究の目的である。

3. 研究の方法

まず、試作用の金型を作製し、直動プレスを用いて、性能評価用の試験片を作製し、圧縮および3点曲げの機械的特性試験を行う。一方、製造法については、FEM等を使用して設計を行い、装置を試作して薄板材を加工する。

図3に製造方法を示す。自動車のエネルギー吸収部材に適用するとして、5MPa前後の圧縮プラトー応力を狙い、成形体の相対密度は $\rho=0.1$ 程度として、目標のMHSは肉厚 $t=0.1\text{mm}$ 、直径 $\phi=5\text{mm}$ にて試作する。また、球のピッチは、成形体の構造としてFCC構造となるように、FCC構造の一辺における原子間距離7.07mmとする。(a)まず、薄板材から図4のような楕円がブリッジにて繋がったブランク形状にカットする。(b)次に、球殻の硬度を高めるため、ブランクの曲げ曲げ戻しにて予ひずみを与える。(c)予ひずみを付与したブランクを半球に絞る。(d)長軸端部を起こし、ブランクをカップ状にする。(e)最終工程の口閉めの前に、長軸端部が内側に倒れ込むよう、予備口閉めとしてカップの先

端を少し曲げる．(f)最後に，カップ先端を丸めて鈴形に成形する．5工程の中で，ロータリープレス加工の適用が必要で，かつ加工中に板材に破壊もしくははしわ等の欠陥が発生する第2工程の半球絞りおよび第3工程の端部起こしについて，調査する．

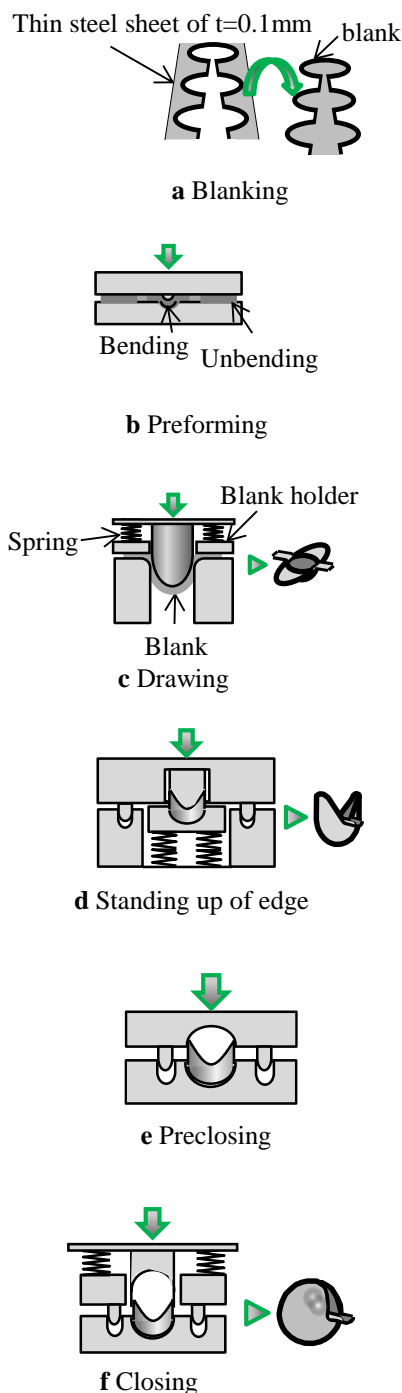


図3 提案するボールチェーン形中空球列の製造法

4. 研究成果

製造されたボールチェーン形中空球列および固化成形体を図4に示す．ボールチェーン状MHS同士の接合には，低融点金属のめつ

き後炉内で加熱溶融させて接合するブレージング固化成形法を用いる．表面に低融点金属を用いるのは母材への熱影響がないようにするためであり，めっき材料にははんだ付け性に優れたスズハンダを選択している．母材との密着性を高めるため，下地に膜厚 $1\mu\text{m}$ のCuをドーピングした後，膜厚 $30\mu\text{m}$ のめっきを施す．めっきされたMHSを6本，5本，6本，…のように交互に積層してFCC構造とし，それを大気炉にて約 300°C で20分加熱保持して固化する．



a Formed metallic hollow sphere string



b Consolidated structure

図4 試作ボールチェーン形中空球列

圧縮試験による公称応力-公称ひずみ曲線を図5に示す．鈴形中空金属球は球同士をブリッジにて連結しておらず，容器内に流入して固化成形したものであり，既存の粉末冶金法（フラウンフォーファー研究所材料部門IFAM）による成形体と同等の性能を保有している．パラレル積層は，ボールチェーンの鎖状方向を揃えて積層したもので，クロス積層は各層ごとに直行するように並べたものである．約60%まではほぼ一定の応力（プラトー応力）を示しており，その値は約 5MPa であって，衝突時の人体への衝撃の指標とされる平成14年経産省が提示した性能を満足するものである．ボールチェーン形は，既存の中空球成形体と同等の性能を保有しており，遜色はない．粉末冶金法とは異なるため，初期板材の肉厚およびパンチ・ダイ工具半径を変更することで，肉厚/直径比が容易に変更できるため，性能制御性も高い．

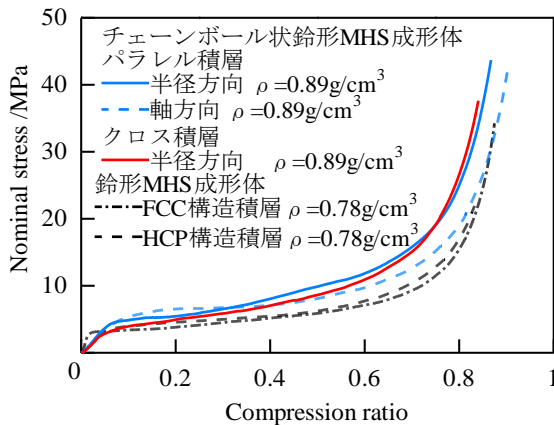


図5 圧縮特性

図6に、評点間距離 100mm の3点曲げ試験の結果を示す。鈴形MHS成形体FCC構造と比較して、ピーク荷重は約1.4倍に増加し、強度向上が見られた。しかし、鈴形MHS成形体同様プラトー領域は見られず、荷重が急激に低下した。引張り変形は中空球部ではなく、ブリッジ部のみ伸びが発生することから、破断伸びが小さく、最大荷重までの曲げ工具の押込みストロークを増やすことができなかったこと、また、曲げ内側の球が潰れることによってエネルギーを吸収することを想定していたが、球が潰れる前に曲げ外側のブリッジが破断したことが荷重低下の要因であると考えられる。ブリッジ部の幅を増やすことによって、引張り強度をさらに向上し、ポーラス金属の良好な吸収性を表す圧縮変形にて吸収することが必要であると思われる。以上より、この新ポーラス金属の特許申請した。

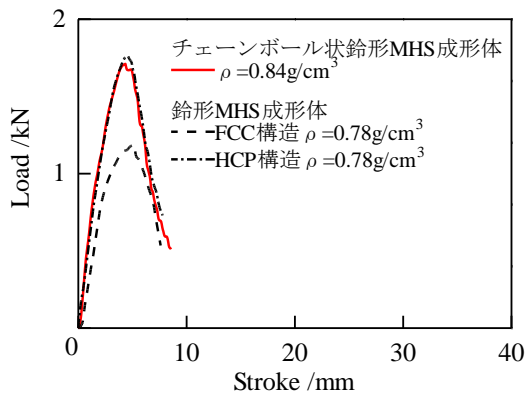


図6 曲げ特性

ロータリープレス加工においては、図7のような装置を試作し、中空球列が製造できることを確認した。順送りプレスが1分間200ショットで数列を一度に作っても、1000個くらいであるのに対し、ロータリープレスではロールが1分間1回転としても、約7千~1万個製造できることになり、極めて高速に生産できることになった。この製造分野では時

間単価のため、コストはかなり低減できることになる。

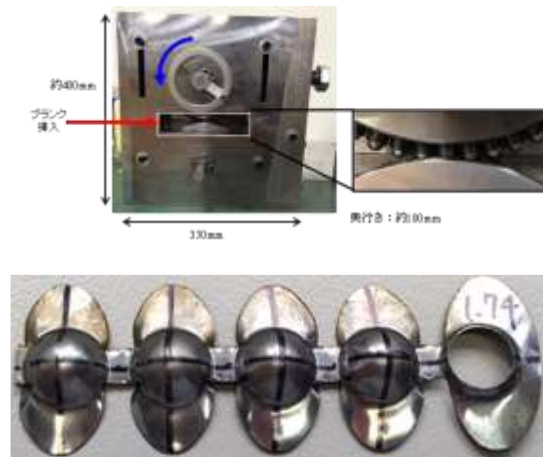


図7 試作ロータリプレス装置および半球絞り後形状

また、第1工程のブランキングにおいても、装置の設計にFEMを使用することを目的に、板材のせん断のFEM際に必要となる成形限界予測式を提案した。それについては、学会および雑誌論文にて発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 吉村英徳, 堀田博也, 上森武, 中哲夫, 三原豊: 主せん断ひずみエネルギーによる成形限界の評価, 軽金属, 65-5 (2015), 190-195.

〔学会発表〕(計 5 件)

- 堀田博也, 吉村英徳, 上森武, 中哲夫, 三原豊: 主せん断ひずみエネルギーに注目した成形限界予測式(第3報 高張力鋼板への適用), 第66回度塑性加工連合講演会論文集, 福島県いわき市, (2015.10), 71-72.
- 吉村英徳, 三原豊, 品川一成: ボールチェーン形MHS成形体の製造法と機械的特性, 2015年度日本機械学会年次大会論文集, J0330103, 北海道札幌市, (2015.9).
- 堀田博也, 吉村英徳, 上森武, 中哲夫, 三原豊: 主せん断ひずみエネルギーに注目した成形限界予測式(第2報 静水圧応力の影響), H27年度塑性加工春季講演会論文集, 神奈川県横浜市, (2015.5), 109-110.
- 秋田恵, 吉村英徳, 品川一成, 三原豊: チェーンボール状鈴形MHS成形体の製造法および機械特性, 第65回塑正加工連合講演会, 岡山県岡山市, (2014.10), 1-2.
- 吉村英徳, 秋田恵, 品川一成, 三原豊: ボールチェーン状鈴形MHS成形体の開発, 第64回塑正加工連合講演会, 大阪府吹田市, (2013.11), 369-370.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：中空金属球群、その製造方法および衝撃吸収用構造材

発明者：吉村英徳，三原豊，品川一成，秋田恵

権利者：国立大学法人香川大学

種類：特許

番号：2013-218836

出願年月日：2013 年 10 月 22 日

国内外の別： 国内

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉村 英徳 (YOSHIMURA, Hidenori)

香川大学・工学研究科・准教授

研究者番号：3 0 3 1 4 4 1 2