

超音波振動で加振した金型による金属板の深絞り成形

三木 靖浩^{*1)}, 梅本 博一^{*1)}, 林 達郎^{*2)}, 樋口 裕輝^{*3)}, 平山 彰良^{*3)}

Deep Press Forming of Metal Sheet by Mold with Ultrasonic Vibration

MIKI Yasuhiro^{*1)}, UMEMOTO Hirokazu^{*1)}, HAYASHI Tatsuro^{*2)}, HIGUCHI Yuuki^{*3)} and HIRAYAMA Akira^{*3)}

絞り成形に使用する金属材料の削減を目指し、絞り成形品の重量を削減することを目的として、超音波振動で加振できる絞り金型を作製し、絞り金型への超音波振動の有無による絞り成形性について検討した。その結果、冷間圧延鋼(SPCE)板、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)板およびアルミニウム合金(A5052)板の場合、金型への超音波加振によって約 3%の絞り高さの向上が認められた。また、純チタン(TP270)板の場合、金型への超音波加振によって約 10%までの絞り高さの向上が認められ、最も超音波加振による絞り性の効果が高くなることがわかった。純チタン(TP270)板の場合、ブランク径 65mm の板厚 0.4mm でも完全に絞りきることができた。

1. 緒言

超音波振動は、超音波洗浄機、プラスチックの溶接機、超音波探傷装置および食品加工切断機など様々な加工機器や検査装置に活用されている¹⁻³⁾。超音波振動の塑性加工分野への適用については約 60 年前から検討されているものの、超音波振動をプレス加工に適用するためには機械工学分野だけでなく振動工学分野、音響工学分野ならびに電気工学の知識が必要となる⁴⁾。そのため、機械工学分野の一つであるプレス加工に超音波振動を適用する技術については、中小企業においてほとんど行われていないのが現状である。本研究では、プレスによる絞り成形に使用する金属材料の削減や原料コストの削減を目指し、絞り成形品の重量を削減することを目的として、超音波振動で加振できるプレス金型(絞り金型)を作製した。この絞り金型のダイス型(凹型)を超音波振動で加振できるような構成とし、ダイス金型への超音波振動の加振の有無による各種金属板の絞り成形性について検討した。

2. 実験方法

2.1 絞り成形金型の設計および振動系の設計

使用する金型は外径φ30mmの円筒形状で高さ75mmまでの円筒深絞りが可能となる金型とし、当センター所有の材料強度試験機でのプレス成形が可能な絞り成形金型を作製した。その絞り金型の外観および概略図を、図1に示す。超音波振動子をダイス型(凹型)に二個設置できるように設計するとともに、しわ押え型の下面にも超音波振動子を取付けることができるようにした。超音波振動によるダイス型の振動を可能な限り妨げないように、ダイス型の上下をφ6mmのベアリング鋼で支える構造とした。ダイス型および

しわ押え型を可動型とし、パンチ型(凸型)を固定型とした。絞り成形する金属板の種類に応じてしわ押え荷重を調整するため、しわ押え型の下面に設置するバネを交換できるようにした。また、絞り成形時に使用する材料と金型とのクリアランスを1.6とし、パンチ型の端部を半径3mmの肩形状とした。絞り成形する金属板の板厚を0.8mmおよび0.4mmとし、一定のクリアランスを確保するため、板厚に応じたパンチ型(凸型)を作製した。

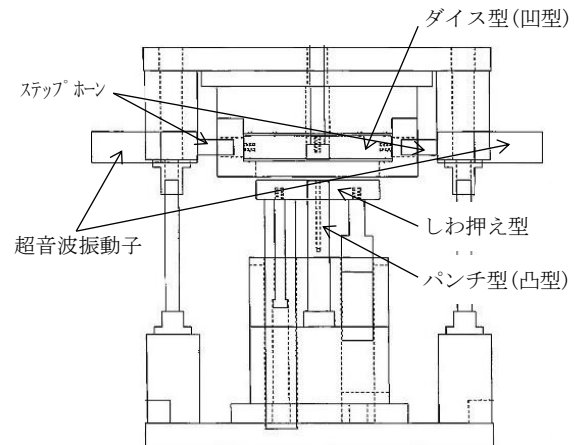


図1 絞り成形金型の外観および概略図

*1) 基盤技術・ソリューショングループ

*2) リビングサイエンス先導的研究開発グループ

*3) ダイワ精密プレス株式会社

超音波振動子には、可聴帯域外の 27kHz の共振周波数を有する本多電子(株)製 HEC-4027P4B ランジュバン型超音波振動子(BLT : Bolt-clamped Langevin type Transducer)を使用した。BLT は、圧電セラミックスを金属板でサンドイッチしたものをボルトで締め付けたものである。この圧電セラミックスに所定の周波数の交流電圧を印加することによって、BLT は一定の周波数で共振する。BLT の共振周波数が小さいほど逆に振動時の振幅は大きくなる⁴⁾。本研究では BLT 単体の振幅を増幅させるため、BLT にステップホーンを取付けた⁵⁾。有限要素法を用いて固有振動モード解析を行い、共振周波数 27kHz で振幅を増幅する長さを求めた。また、有限要素法を用いて、厚さ 30mm の円形のダイス金型が 27kHz で一次の円環伸縮モード(呼吸振動モード)が生じるように、ダイス金型の外径を定めた。

ステップホーンを取付けた超音波振動子を駆動させるため、岩崎通信機(株)製 FG-350 型ファンクションジェネレータ(FGEN)を用いて調整した共振周波数を、ヤマハ(株)製 F3500S 型パワーアンプで増幅させる構成とした。共振周波数の観察には、横河電機(株)製 DL1100 型オシロスコープを使用した。その超音波振動子の駆動構成を、図 2 に示す。

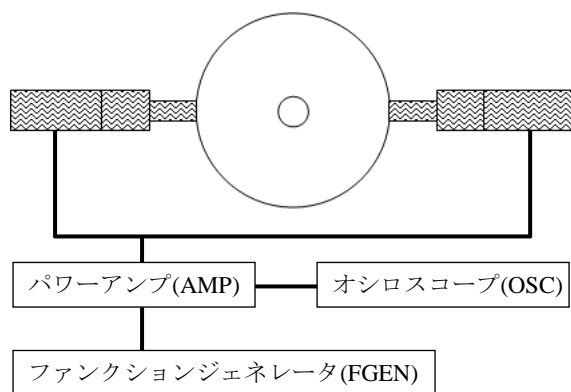


図 2 超音波振動子の駆動方法

2.2 絞り成形実験

絞り成形実験には(株)島津製作所製 UH-F1000kNX 型万能試験機を使用し、金属板として板厚 0.8mm および 0.4mm の冷間圧延鋼板(SPCE)、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)板、アルミニウム合金(A5052)板および純チタン(TP270)板を用いた。各金属板のブランク径をφ50mm、φ60mm、φ65mm、φ70mm およびφ75mm とした。上記の万能試験機に絞り金型を設置した後、しわ押え型の上面の中央部に所定のブランク径の金属板を設置し、100mm/min の速度で絞り成形実験を行った。なお、SPCE 板、SUS304 板および A5052 板の絞り成形にはゴマ油(鉱物油)を使用し、TP270 板の絞り成形にはステアリン酸ナトリウムを主成分とするベビーパウダ(固形潤滑剤)を使用した。絞り成形する金属板を交換する毎に金型上に残存した鉱物油または固形潤滑剤を拭き取り、絞り成形する金属板上に鉱物油また

は固形潤滑剤を塗布した。ステップホーンを取付けた超音波振動子をダイス型の左右対称となる位置に固定し、超音波振動子を並列に接続して 150V の電圧を印加した。材料試験機による絞り成形時の成形開始からの変位量および荷重を測定した。最大荷重または破断時の荷重を示す変位量を絞り高さとし、その変位量での荷重を絞り荷重とした。

3. 結果および考察

3.1 ステップホーンおよびダイス型(凹型)の形状と共振周波数

有限要素法を用いて、周波数 27kHz で最大の振幅が得られるステップホーンの長さおよび周波数 27kHz でダイス型(凹型)の径方向に一次の円環伸縮モード(呼吸振動モード)が形成されるダイス型(凹型)の外径を求めた。その結果を、それぞれ図 3 および図 4 に示す。

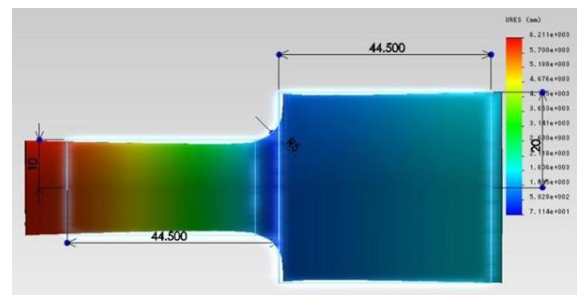


図 3 ステップホーンの形状

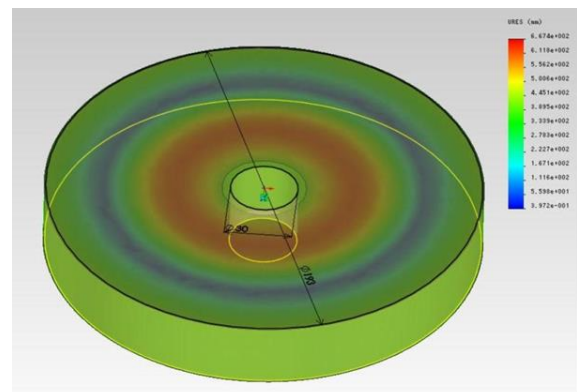


図 4 ダイス型(凹型)の形状

上記の有限要素法による固有振動モードの解析結果を基にして、ステップホーンの全長を 90mm とし、ダイス型(凹型)の外径を 192mm とした。

埼玉大学工学部機械工学科において、ダイス型(凹型)の所定箇所超音波振動子とステップホーンを取付けて印加電圧 100V にてダイス型(凹型)を加振し、周波数特性を測定した。その結果、約 30.4kHz がダイス金型(凹型)の円環伸縮モード(呼吸振動モード)であることがわかった。

設定周波数である 27kHz から約 3.4kHz のずれが生じていることがわかった。

3.2 ダイス型(凹型)への超音波加振による絞り成形

超音波振動での加振時には, すべての金属板の絞り成形において 30.4kHz~31.0kHz の周波数範囲でダイス型(凹型)の共振音(15.2kHz~15.5kHz)を確認することができた. ダイス型(凹型)への超音波振動による加振の有無による深絞り成形時の絞り高さおよび絞り荷重の変化について検討した. その結果を, 図5および図6に示す. 図5および図6は, それぞれ板厚 0.8mm および 0.4mm の場合の結果である. 成形時に完全に絞りきることができた場合は, 絞り荷重が最大となる時の変形量を絞り高さとした. また, 成形時に金属板の破断が生じた場合は, 破断に至るまでの変形量を絞り高さとし, 破断荷重を絞り荷重とした. いずれの金属

板においてもダイス型(凹型)を超音波振動で加振することによって, 絞り高さは 3%以上大きくなっていった. とくに純チタン板(TP270)の場合, 超音波振動で加振することによって絞り高さは 10%以上大きくなることがわかった. また, ダイス型(凹型)を超音波振動で加振することによって, 完全な絞りきりが可能なブランク径の金属板では絞り荷重は減少し, 破断が生じるブランク径の金属板では絞り荷重が増加していることがわかる. ダイス型(凹型)への超音波振動による加振の効果は純チタン板(TP270)の場合が最も大きく, ブランク径φ65mmの純チタン板(TP270)でも完全な絞りきりが可能であった.

板厚 0.8mm および 0.4mm のブランク径φ65mmの純チタ

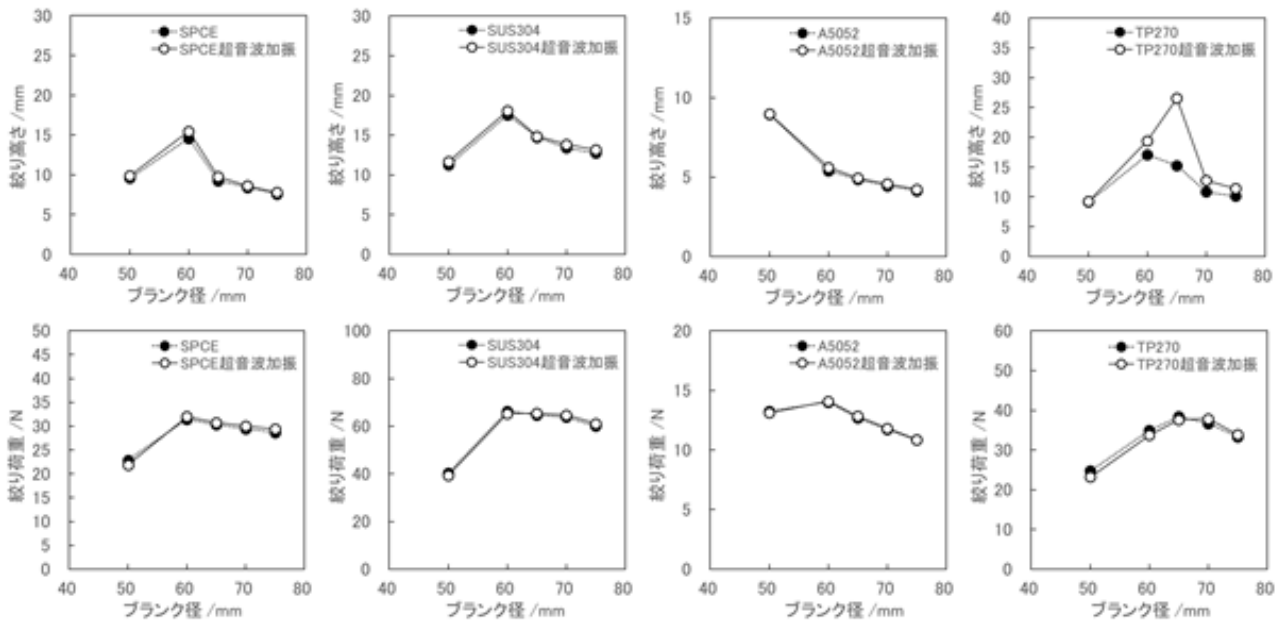


図5 各種金属板(板厚 0.8mm)におけるブランク径と絞り高さおよび絞り荷重との関係

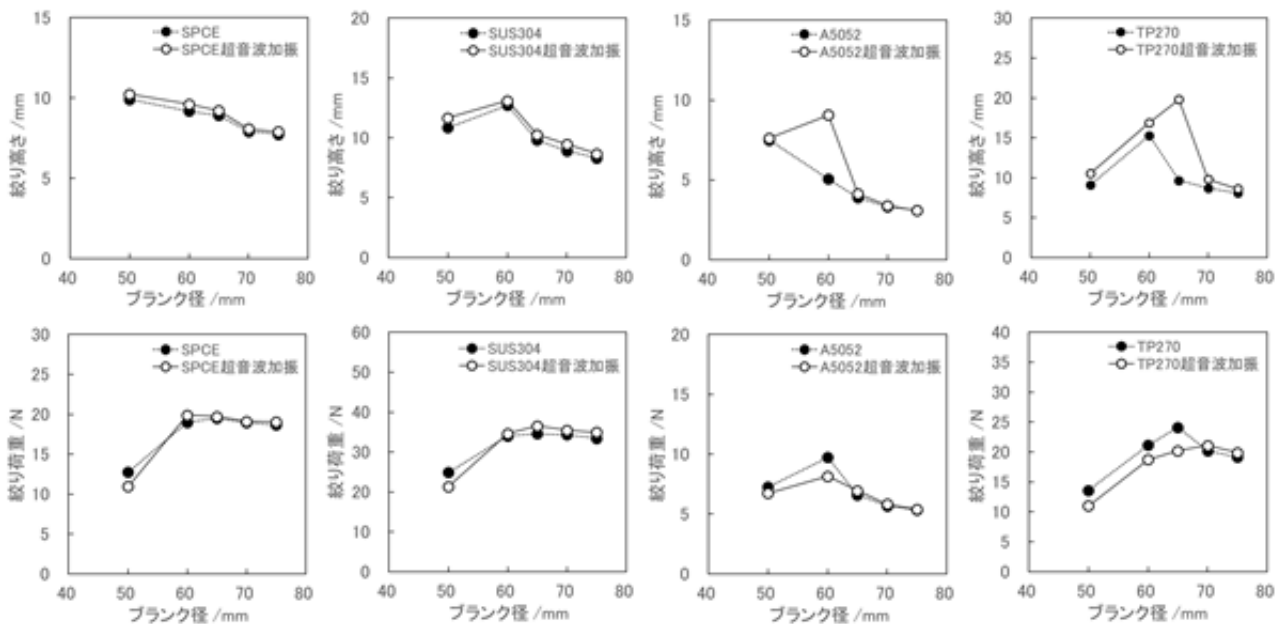


図6 各種金属板(板厚 0.4mm)におけるブランク径と絞り高さおよび絞り荷重との関係

ン板(TP270)の場合、超音波振動でダイス型(凹型)を加振することによって、絞り高さはそれぞれ約 15mm→約 27mm および約 10mm→約 20mm まで大きくすることができることがわかった。このブランク径 ϕ 65mm の純チタン板(TP270)を用いてダイス型(凹型)を超音波振動で加振しながら深絞り成形した絞り成形品の外観を、図 7 に示す。超音波振動による加振によって、板厚を 0.8mm から 0.4mm の 1/2 にしても、板厚 0.8mm の絞り高さの約 75%以上の絞り高さが得られていることがわかる。

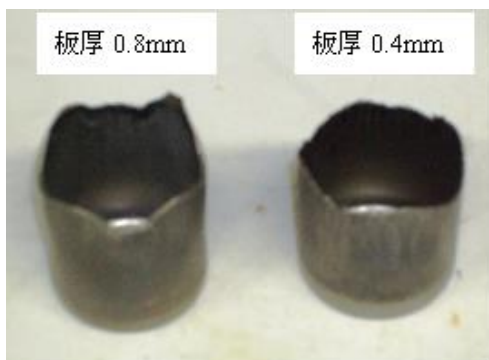


図 7 ダイス型(凹型) を超音波振動で加振しながら成形した純チタン(TP270)板の深絞り成形品の外観

各金属板に対する絞り成形が可能なブランク径(D)と絞り径(d=30mm)との比、すなわち絞り比(D/d)を、表 1 に示す。冷間圧延鋼板(SPCE)では超音波加振による絞り比の増加が認められないものの、ステンレス鋼板(SUS304)、アルミニウム合金板(A5052)および純チタン板(TP270)では超音波振動で加振することによる絞り比の増加を確認することができる。とくに純チタン板(TP270)では、超音波振動で加振することによって板厚を 1/2 にしても絞り比を約 2.2 まで大きくすることが可能であることがわかった。

表 1 超音波加振の有無による絞り比の変化

	板厚 0.8mm		板厚 0.4mm	
	超音波加振の有無(無し)	超音波加振の有無(有り)	超音波加振の有無(無し)	超音波加振の有無(有り)
SPCE	1.7	1.7	1.7	1.7
SUS304	1.7	2.0	1.7	1.7
A5052	1.7	1.7	1.7	2.0
TP270	2.0	2.2	2.0	2.2

今後は、最大振幅が得られる共振周波数 27kHz でダイス型(凹型)が最適に共振するように設計の見直しを行うとともに、しわ押え型にも超音波振動子を固定できる構造としているため、しわ押え型への超音波加振が絞り成形性に与える影響についてさらに検討を加える。

4. 結言

絞り成形に使用する金属材料の削減を目指し、絞り成形品の重量を削減することを目的として、超音波振動で加振できる絞り金型を作製し、絞り金型への超音波振動の有無による絞り成形性について検討した。絞り成形用の金属板には、板厚 0.8mm および 0.4mm の冷間圧延鋼(SPCE)板、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)板、アルミニウム合金(A5052)板および純チタン(TP270)板を使用した。その主な結果は、次のとおりである。

- (1) 有限要素法を用いてステップホーンおよびダイス型(凹型)の固有振動モードを解析した結果、ステップホーンの全長は 90mm、ダイス型(凹型)の外径は 192mm であった。
- (2) ダイス型(凹型)に超音波振動子とステップホーンを取付けて印加電圧 100V にてダイス型(凹型)を加振し、周波数特性を測定し結果、約 30.4kHz がダイス金型(凹型)の円環伸縮モード(呼吸振動モード)であることがわかった。
- (3) ダイス型(凹型)への超音波振動による加振の有無による深絞り成形時の絞り高さおよび絞り荷重の変化について検討した結果、いずれの金属板においてもダイス型(凹型)を超音波振動で加振することによって、絞り高さを 3%以上大きくすることが可能であることがわかった。とくに純チタン板(TP270)の場合、ダイス型(凹型)を超音波振動で加振することによって絞り高さは 10%以上大きくすることがわかった。
- (4) ダイス型(凹型)への超音波振動による加振の効果は純チタン板(TP270)の場合が最も大きく、ブランク径 ϕ 65mm の純チタン板(TP270)でも完全な絞りきりが可能であることがわかった。
- (5) ダイス型(凹型)への超音波加振による絞り比の変化について検討した結果、純チタン板(TP270)では、超音波振動で加振することによって板厚を 1/2 にしても絞り比を約 2.2 まで大きくすることが可能であることがわかった。

謝辞

本研究に際し、種々ご支援、ご指導賜りました埼玉大学大学院理工学研究科 教授 高崎正也氏ならびに日本工業大学機械工学科 教授 神雅彦氏に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Y. Maruyama, M. Takasaki, T. Kutami and T. Mizuno, J. Sys. Design and Dynamics, Vol.1, No.2, pp.193-199 (2007).
- 2) 社本英二, 鈴木教和, 精密工学会誌, Vol.72, NO.4, pp.440-443 (2006).
- 3) 高橋徹, 足立和成, 日本音響学会誌, Vol.60, NO.8, pp.441-450 (2004).
- 4) 神雅彦, プレス技術, Vol.52, No.5, pp.74-77 (2014).
- 5) 胡炳群, 宍戸善明, 三代祥二, 鈴木清, 植松哲太郎, 田中克敏, 砥粒加工学会誌, Vol.46, No.2, pp.94-97 (2002).