



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



圧入時の振動速度の測定 —電動アクチュエータを用いた超音波圧入加工(3)—

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本音響学会 公開日: 2012-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 菅原, 啓之, 小野, 聡, 青柳, 学, 高野, 剛浩, 田村, 英樹 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1691

圧入時の振動速度の測定 電動アクチュエータを用いた超音波圧入加工(3)

その他（別言語等）のタイトル	The measurement of vibration speed during forced insertion operation , -Ultrasonically forced insertion device with an electric actuator (3) -
著者	菅原 啓之, 小野 聡, 青柳 学, 高野 剛浩, 田村 英樹
雑誌名	日本音響学会研究発表会講演論文集
巻	2010年春季
ページ	1371-1374
発行年	2010-03
URL	http://hdl.handle.net/10258/1691

圧入時の振動速度の測定

電動アクチュエータを用いた超音波圧入加工(3) *

菅原啓之, 小野聡, 青柳学 (室蘭工大), 高野剛浩 (東北工大), 田村英樹 (山形大)

1 はじめに

はめ合い加工は組み立てに要する部品数を少なくすることが可能であり, また, 加工工程数が少なくなるため, 製造現場で使用されている. しかし, クリアランス精度の向上によって, 部品同士の接触による摩擦力の増大による「こじれ」や「カジリ」などの塑性変形が問題になっており, 摩擦力低減効果がある超音波圧入加工が行われている. しかし, 既知の技術であるが現場で仕様に合わせて開発されているため, 文献としてはあまり多くない^{[1][2][3]}.

本研究の目的は, 超音波圧入装置を試作し, 超音波振動の効果を定量的に評価することである. 前報では負荷の変動に対し共振周波数を追尾し, 振動振幅を一定に保つ BLT 駆動回路を設計し, 圧入試験を行い, 超音波振動の効果を検討した^[4]. 本報告では圧入加工に対する超音波振動の効果および回転振動による「こじれ」の発生防止効果が確認される際の振動速度波形の測定結果について述べる.

2 振動系とアクチュエータ



Fig.1 Forced insertion system.

本研究で使用する振動系と電動アクチュエータを Fig.1 に示す.

アクチュエータ: パルスモータおよびボールねじ駆動, 最大押し付け荷重 800N を用いた圧入荷重の付加.

ロードセル(定格容量 2kN): 押し付け力の測定.

ボルト締めランジュバン型振動子(BLT)(共振周波数 28kHz, 最大許容電力 450W)を使用して超音波振動を励振する. また, コニカルホーンによって速度変換を行っている.

外径 12mm + 公差の金属棒を穴径 12.000~12.011mm の金属プレートに圧入する.

3 試験材料

JIS で規定されているはめ合い等級: 『打込』, 『軽圧入』, 『圧入』, 『強圧入』の 4 種類の等級について外径 12mm の金属棒と穴径 12mm の金属プレートを用いて圧入試験を行った. 圧入サンプルには公差のばらつきがあるため, 各はめ合い等級に対し複数回測定を行い, その平均で圧入完了に要する力を評価した. 振動速度調整回路からの出力(最大 10V_{p-p})を増幅器で増幅し, BLT に入力して超音波振動を発生させる. Fig.2 に実験で用いる圧入サンプルを示す.

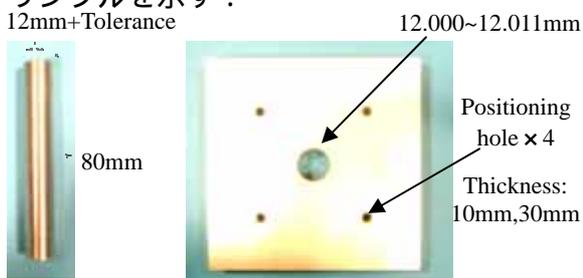


Fig.2 The appearance of processing materials. (Left: Metal rod, Right: Metal plate)

4 振動速度測定

4.1 定振動振幅試験方法

前報での圧入試験^[4]において完全に圧入できなかった等級について軸と穴への振動の伝達状態を明確するため, 軸先端と穴周辺の振動速度をレーザードップラー振動計(LDV)を用いて測定した.

金属棒及び金属プレートには Fig.3 に示すように 2 つのレーザーを当てた. 1 つのレーザーをプレート穴内の金属棒先端に, もう一方のレーザーを金属棒と約 27° の角度をつけ斜め上方から照射した.

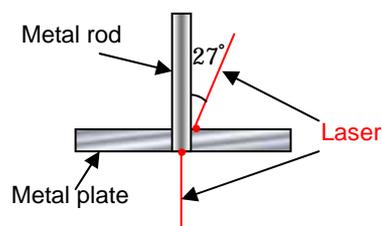


Fig.3 Position of laser cast.

* The measurement of vibration speed during forced insertion operation, -Ultrasonically forced insertion device with an electric actuator (3) - by SUGAWARA, Hiroyuki, ONO, Satoshi, AOYAGI, Manabu (Muroran Institute of Technology), TAKANO, Takehiro (Tohoku Institute of Technology), TAMURA, Hideki (Yamagata University)

4.2 振動速度測定 ゴムシートなし

圧入試験時と同等の条件で振動速度を測定した結果を Fig.4 に示す．同図より，金属棒先端に超音波振動が伝わっている．また，同時に金属プレートも金属棒とほぼ同位相，同振幅で振動していることがわかった(測定方向が互いに逆であるため，同図中では逆位相で表わされている)．つまり，両方が一緒に振動しているため境界面にすべりが生じていないことが圧入限界に至った原因の1つと考えられる．

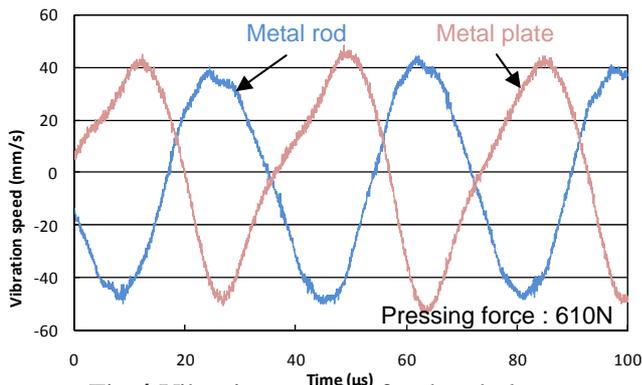


Fig.4 Vibration speeds of rod and plate.

4.3 振動速度測定 ゴムシートあり

同一サンプルを用いて金属プレートの振動を抑えるために金属プレートの下にゴムシートを敷いた状態での振動の様子を測定した．厚さ 7mm のゴムシートを金属プレートの下に敷いたときの測定結果を Fig.5 に示す．同図より，金属棒先端の振動速度はほぼ変わらず，金属プレートの振動速度が大きく減衰していることが伺える．また，ゴムシートを厚くしていくことで棒とプレートに伝わる振動振幅の差が大きくなり，7mm ゴムシートを用いたときにはプレートの振幅は半減した．

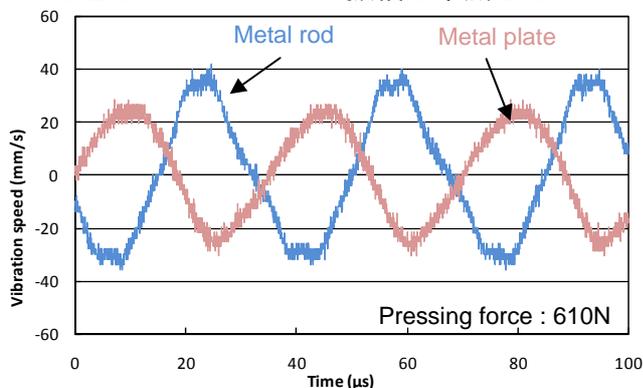


Fig.5 Vibration speeds of rod and plate in the use of rubber dumping.

4.4 ゴムシートを用いた圧入試験

ゴムシートによる振動減衰の圧入に対する効果を検証するため厚さ 2~7mm のゴムシートを用いて圧入試験を行った．試験にははめ合い等級圧入の同一のサンプルを用い，約 800N の押し込み力で 2 回ずつ圧入動作を行った．

試験結果を Table1 に示す．ゴムシートが厚くなるにつれ，より大きな効果が得られることが分かった．ゴムシートを厚くすることで軸と穴に伝わる振動の振幅と位相に差が生じ，摩擦力を低減する効果に繋がっていると考えられる．

Table1 Result of a forced insertion test.

Rubber thickness (mm)	Depth(mm)		Phase(deg)
	1st	2nd	
without	4.29	4.29	12.41
2	4.48	4.48	28.60
3	4.50	4.50	25.60
4	4.50	4.50	35.47
5	4.78	4.78	35.51
6	6.04	6.05	38.64
7	6.06	6.06	32.84

5 回転振動の付加の検討

5.1 回転振動の励振

圧入加工時に軸と穴との間の摩擦力が大きいために，軸が傾いて圧入される「こじれ」現象が発生する．この現象は完成品の質の低下や加工ラインの停止などに繋がる大きな問題である．そこで，「こじれ」を修正するために回転振動を励振し，軸に回転変位を与えて傾きの修正を試みた．

回転振動を励振するためにコニカルホーン先端部に溝加工を施し，圧入方向(Z 軸)の振動の一部を垂直方向(X,Y 軸)の曲げ振動に変換する．さらに，段付加工により大きな曲げ振動振幅が得られるように設計した．

Fig.6 に設計した溝付きコニカルホーンの形状および有限要素法解析ソフト(ANSYS)による Z 軸方向の縦振動モードの解析結果を示す．また，Fig.7(a)および Fig.7(b)にホーン先端部が X 軸および Y 軸方向に変位する曲げ振動モードの解析結果を示す．前報の解析では要素分割が非対称であり，さらに，アクチュエータと接合するための円盤のネジ止めなどが解析モデルに考慮されていないため試作測定結果と差が大きかった^[5]．今回の解析モデルはより実物に近い条件で解析を行った．解析結果より，Z,X,Y 軸方向の共振周波数はそれぞれ 26.697kHz，32.941kHz，32.576kHz が

得られた。つまり、縦振動モードと曲げ振動モードの共振周波数は約 6kHz 離れていた。

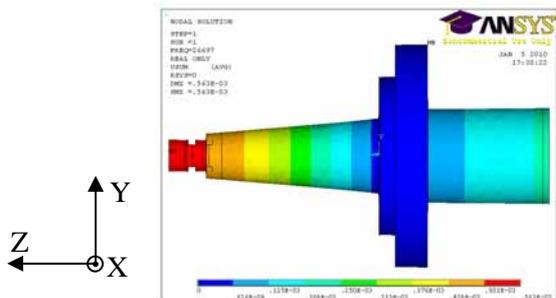
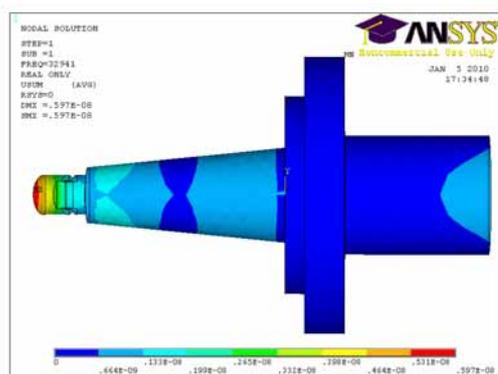


Fig.6 Modal analysis result of longitudinal vibration of a conical horn with grooves.



(a) X-axis

(b) Y-axis

Fig.7 Modal analysis results of bending vibration modes of a conical horn with grooves.

5.2 振動特性

Fig.8 に圧入時における金属棒の Z 軸方向の振動速度を LDV を用いて測定した結果を示す。同図は押し込み力約 610N、駆動周波数は縦振動モードの共振周波数付近(28.2kHz)と X,Y 軸方向振動モードの共振周波数付近(32.4kHz)の 2 通りで行った。測定は下方から金属棒先端にレーザーを照射して行った。Fig.8 に示すように Z 軸方向の振動速度は縦振動モードの共振周波数近傍で駆動するよりも、X,Y 軸方向の屈曲振動モードの共振周波数近傍で駆動した時のほうが大きいことがわかった。

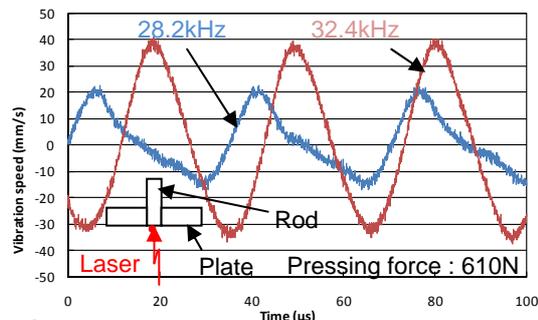


Fig.8 Characteristics of vibrating velocities of rod (Z-axis).

次に金属棒の回転振動を測定した。各座標軸と溝の位置および測定点の関係を Fig.9 に示すように定めた。Fig.10 に押し込み力約 610N 時の金属棒の各軸方向の振動速度の測定結果を示す。測定は縦振動モードの共振周波数付近(28.0kHz)と X,Y 軸方向の屈曲振動モードの共振周波数(32.5kHz)で行った。また、Fig.11 に同様の測定条件時の振動速度のリサージュ図形を示す。Fig.10,11 から、両周波数とも金属棒に回転振動を伝達できることが確認できた。しかし、X,Y 軸方向の共振周波数で駆動したほうがよりきれいな回転振動および大きな振動速度が得られた。

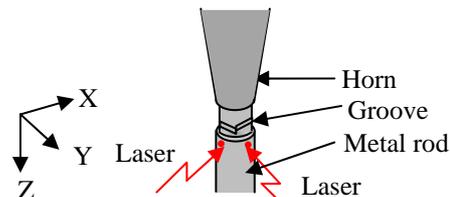
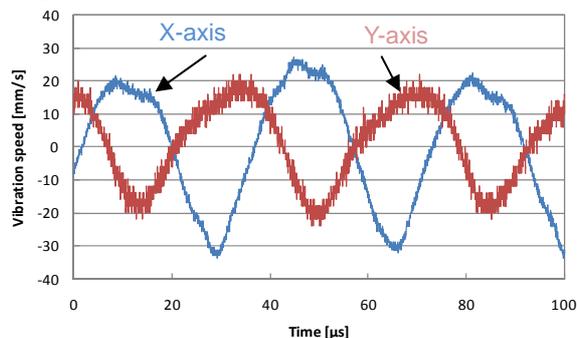
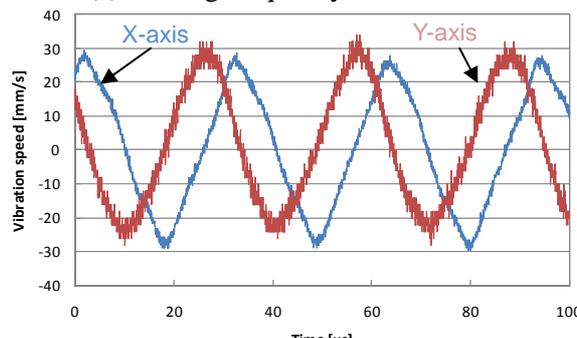


Fig.9 Coordinate and measurement positions.



(a) Driving frequency : 28.0kHz.



(b) Driving frequency : 32.5kHz.

Fig.10 Measured vibrating velocities of rod (X,Y-axis).

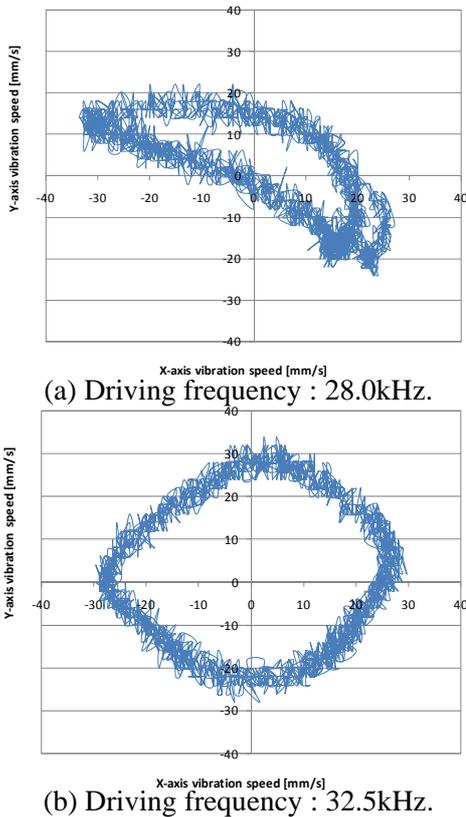


Fig.11 Measured lissajous figure of vibrating velocities.

5.3 軸の傾きの修正

こじれが生じやすいクリアランスに対して、以下の3つの条件下においてZ軸方向の共振周波数付近(28.0kHz)で圧入したときの結果をTable2に示す。各測定において5回ずつ押し込み力を加えた。

・条件

溝付きホーン：回転振動変位を付加

円錐ホーン：回転振動変位無し

その後、回転振動変位を加えて追加圧入測定結果より、回転振動変位によって傾きが修正されていることがわかる。溝付きホーンよりコニカルホーンの方がより深く圧入されているのは、前報の結果からコニカルホーンの方が縦方向の振動速度が大きいからだと考えられる^[5]。

Table 2 Result of forced insertion test.

Condition			
Shaft diameter [mm]	12.026	12.024	
Hole diameter [mm]	12.000	12.000	
Pressing force [N]	800	800	800
Depth [mm]	2.58	2.77	3.11
Inclination [°]	0.35	0.6	0.2

6 まとめ

前報で完全に圧入できなかったはめあい等級のサンプルについて^[4]、振動速度の測定を行った。以下に結果をまとめる。

- ・金属棒と金属プレートが一体となって振動していた。軸と穴との間の摩擦状態が静止摩擦状態であることが圧入限界の原因の1つと考えられる。
- ・金属プレートの下にゴムシートを敷いた場合、軸と穴とに伝わる振動の振幅、位相に差を生じさせる事が可能であり、圧入加工に効果的である。
- ・溝付きホーンにより負荷時にも回転振動が励振されており、回転振動を金属棒に伝達することが可能であった。
- ・溝付きホーンの解析モデルより実物に近いものに変えて解析を行った。BLTの共振点から離れた点でX,Y方向に大きく曲がる周波数が存在した。
- ・LDVを用いて振動速度を測定した。解析結果と同様に曲げ方向の共振周波数(32kHz付近)でも大きな振動の発生が確認できた。負荷が加わることで共振尖鋭度Qが低くなったため、無負荷時のBLTの共振点から離れた点の励振が可能だったと考えられる。今後、縦振動と屈曲振動の共振周波数をより近接させた場合の効果を検討する。

参考文献

- [1] 深津英治, "超音波振動を応用した圧入機の開発", YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, <http://www.yamaha-motor.co.jp/profile/craftsmanship/technical/publish/no33/pdf/print/gr-02.pdf#search='深津英治 圧入機'> Chapter4, 2002.
- [2] 辻野, 原口, 櫻井, 上岡, 杉本, "超音波振動を用いた金属棒の押し込み加工について", 音講論(秋), pp.1199-1200, 2007.
- [3] 辻野, 上岡, 原口, 櫻井, 杉本, "超音波振動を用いた金属棒の押し込み加工について - 超音波振動を用いた金属棒の押し込み固定加工について -", 音響論(春), pp.1271-1272, 2008.
- [4] 菅原, 青柳, 高野, 田村, "圧入加工における超音波振動による押し込み力軽減効果の実験的検討 電動アクチュエータを用いた圧入加工(1)", 音講論(秋), pp.1185-1186, 2009.
- [5] 菅原, 田中, 青柳, 高野, 田村, "圧入加工における回転振動の効果の検討 電動アクチュエータを用いた圧入加工(2)", 音講論(秋), pp.1187-1189, 2009.