

超音波応用塑性加工技術の高度化に関する研究

社団法人 日本塑性加工学会 超音波応用加工分科会

執筆代表者：片岡 征二・神 雅彦

(平成14年度研究開発助成 AF2002012)

キーワード：超音波，塑性加工，切削加工，微細加工，環境対応

1. 研究の背景

近年，地球環境保護が世界的課題となっている中で，塑性加工分野においては，これまで塑性加工各分野において加工性能の向上に大きく関与してきた加工油剤，および，それに添加される塩素系極圧剤が使用できなくなってきた。さらには，同油剤洗浄のためのフロン系液や有機溶剤の使用も規制されつつある。したがって，現在，それらの代替技術，ないしは潤滑剤とは別な手段で，潤滑作用補助および促進する技術の開発が期待されている。

一方，IT機器や精密機器の製造分野においては，CDやHDD金型を鍛造などの塑性加工で製作する検討がなされているなど，従来にない精密塑性加工技術が期待されている。したがって，そのための加工技術として，従来技術に比べ加工精度を大幅に向上できる加工技術の開発が望まれている。さらに，特に半導体・電子機器の製造分野においては，フリップチップボンディング技術やマイクロモータケースの絞り技術など，従来にない微細塑性加工技術が要求されてきている。したがって，そのための加工技術として，従来技術に比べて加工力を大幅に低減し，製品のマイクロ化に対応できる加工技術の開発が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では，前記の環境対応塑性加工技術，精密塑性加工技術およびマイクロ塑性加工技術に対応できる可能性をもった新技術として，超音波振動を援用した塑性加工技術の活用を提案する。そして，同加工技術が前記の問題点の解決に対し，どこまで対応可能かどうかについて調査することを目的とする。研究のステップおよび個別目標は以下のとおり。

(1) 塑性加工に超音波を付与したときの摩擦力低減，加工精度向上あるいは加工力低減などの加工効果に関して広く調査し，それらの特徴やメカニズムなどに関しての検討を行なう。

(2) 超音波を塑性加工に援用した場合の加工法別の具体的な効果について，板材加工，引抜き加工，曲げ加工あ

るいは接合加工などを取上げ，過去の応用的研究や最近の応用的研究を調査し，系統的に整理・分類し評価する。

(3) 超音波援用塑性加工技術における各種効果に関して総合的にまとめ，今後の前記の環境対応塑性加工技術，精密塑性加工技術およびマイクロ塑性加工技術への対応の可能性，およびそのための効果的な超音波の利用法に関しての指針を提言する。

3. 超音波の塑性加工に与える各種効果の調査および検討

研究期間である平成15年7月から平成17年2月までの間に，合計6回の超音波応用加工に関する技術動向に関するセミナーを開催し，各種超音波応用塑性加工における効果の実例に関して討論し，その特徴やメカニズムに関する検討を行った。

具体的には，(1) 超音波接合，超音波引抜き，および超音波圧延の塑性加工技術，(2) 超音波切削，研削および砥粒加工技術，(3) 超音波発生機器（振動子）に関する技術，および(4) 超音波を利用した計測技術が取り上げられ，それらの効果に関して討論された。

それぞれの加工に関して特徴やメカニズムの検討を行った結果は以下のように要約される。

(1) 塑性加工：周波数応答特性による加工力低減効果，表面マイクロ突起の引き剥がしや飛び越えなどによるトライボロジー特性向上効果，あるいは転移の促進などの変形能向上効果などが得られるという特徴やメカニズムが明らかになった。

(2) 切削・研削加工：周波数応答特性による工具たわみの低減，衝撃力による加工の促進効果などが得られるという特徴やメカニズムが明らかになった。

(3) 超音波機器：振動子の組み立てにおける圧電素子の密着度の重要性，振動系接合ねじにかかる応力とねじのピッチの微細化およびねじ面の精密仕上げによる振動特性向上効果などが明らかになった。

(4) 超音波計測：光学的に物体を捕らえるのではなく，弾性率で捕らえる超音波顕微鏡の有効性やメリットなどが明らかになった。

以上の調査・研究活動をまとめると，最新の超音波応用加工技術のトレンドが明らかになり，それらの技術に

対して、効果の特徴およびメカニズムが一般化して整理および理解された。各方面における、超音波応用加工技術力の向上あるいは正しい理解の普及に役立つことができたと考える。

具体的なセミナー実施状況および話題提供された超音波応用加工事例に関するテーマを以下に列挙しておく。またその一コマを図1に示す。



図1 超音波応用加工セミナーの様子

(1) 「第14回超音波応用加工セミナー・見学会」

日 時：平成15年7月17日（木） 13:30～17:00

会 場：拓殖大学 八王子キャンパス

テーマ：

1. 超音波による金属溶接
精電舎電子工業株式会社 名久井 慎君
2. 超音波によるセラミック接合
拓殖大学工学部 渡辺 裕二君ほか2名
3. 研削加工への超音波の適用
職業能力開発総合大学校 海野 邦明君

(2) 「第15回超音波応用加工セミナー・見学会」

日 時：平成15年10月24日（金） 13:25～17:10

場 所：金沢工業大学

テーマ：

1. 超音波圧延に関する研究（仮）
金沢工業大学 川並 高雄君
2. 超音波振動切削—最近の加工事例—
㈱太武製作所 太田 和義君
3. 表面改質材料の超音波測定
東京大学 相澤 龍彦君

(3) 「第16回超音波応用加工セミナー・見学会」

日 時：平成16年3月5日（金） 13:20～17:00

会 場：精電舎電子工業株式会社

テーマ：

1. 超音波溶着機の使用法と使用実例
精電舎電子工業㈱ 川上 一徳君

2. 小径穴超音波加工に関する研究

日本電子工業㈱ 田中 信一君

3. 音波領域の物体共振を利用した非破壊検査技術

東レエンジニアリング㈱ 伊藤 徹君

(4) 「第17回超音波応用加工セミナー・見学会」

日 時：平成16年7月7日（木） 13:30～17:00

会 場：株式会社カイジョー

テーマ：

1. 超音波振動子について
㈱カイジョー 研究開発本部 副島潤一郎君
2. 超音波接合技術について
㈱カイジョー ボンダー事業部 大石 幸則君
3. 超音波洗浄技術について
㈱カイジョー 産業用洗浄装置事業部 近藤 陽次君
4. 超音波計測技術について
㈱カイジョー カイジョーソニック 新井 悟司君
5. 超音波振動を利用した線の引抜き加工法
㈲ビジュアルウェア・サービス 林 正弘君

(5) 第18回超音波応用加工セミナー・見学会

日 時：平成16年11月5日（金） 13:30～17:15

会 場：山形大学米沢キャンパス

テーマ：

1. 強力超音波技術の確立に向けての提言
山形大学工学部 足立 和成君
2. 超音波振動複合研削による石英ガラスの高アスペクト比微細穴加工
山形県工業技術センター 鈴木 庸久君
3. 超音波振動を援用した小径内面の研削加工
秋田県立大学 野村 光由君

(6) 第19回超音波応用加工セミナー・見学会

日 時：平成17年2月24日（木） 13:00～17:00

会 場：日本ディエムジー株式会社

テーマ：

1. 次世代材質の加工を実現する超音波加工機
日本ディエムジー株式会社

4. 最新の超音波応用塑性加工技術の体系化

4. 1 技術体系化のための単行本企画

前述の調査検討結果や考察結果は体系化して整理し、利用者が使いやすいように知識を共有化しておくことによってはじめて意義を持つ。そこで、前述のセミナーで得られた知識、あるいは共同研究者の日ごろの研究により得られた知識を総まとめして、単行本を執筆・編集することとした。そこで、出版委員会を編成し数回にわたり出版委員会を開催して、以下に示すような企画案を完成させた。

1. 本名称：超音波応用加工技術（仮称）

2. 編集・執筆 編集：村川 正夫，執筆：超音波応用分科会委員ほか（下記表参照）

3. 出版委員会構成

委員長：村川 正夫

委員：片岡 征二，加藤 光吉，神 雅彦，西村 惟之，井上 昌夫，辻野次郎丸
小玉 満，佐藤 隆，竹増 光家

4. 構成・執筆者案

| 章 タイトル | 主な内容 | ページ数 | 執筆者 |
|---|---|------|--|
| 1. 超音波の基礎 1. 1 超音波とは 1. 2 強力超音波の特性 1. 3 強力超音波の発生と伝送 1. 4 振動体のシミュレーション手法 | 弾性波について等の解説 振動媒体，振幅，加速度等 共振，発生装置 振動の合成，シミュレーション | 50 | 加藤 石渡 佐藤 |
| 2. 塑性加工への応用 2. 1 基礎的効果 2. 2 せん断加工 2. 3 曲げ加工 2. 4 深絞り加工 2. 5 しごき加工 2. 6 引抜き加工 2. 7 圧延加工 2. 8 据込み，鍛造，転造加工 2. 9 その他 | Blaha効果，摩擦低減効果 ハンマリング効果，昇温効果等 樹脂のせん断等 (1)線材，(2)パイプ材等 | 70 | 片岡 村川 辻野 片岡 竹増 井上 井上 竹増 片岡 |
| 3. 切削加工への応用 3. 1 超音波応用切削法の原理 3. 2 超音波応用切削加工装置 3. 3 円筒加工 3. 4 穴加工 3. 5 平面加工 3. 6 その他 | 切削理論等 加工機械，工具等 ドリル加工，中ぐり加工等 フライス加工等 | 25 | 神 |
| 4. 研削加工への応用 4. 1 超音波応用研削法の原理 4. 2 超音波応用研削装置 4. 3 平面研削 4. 4 穴研削 4. 5 ドレッシング 4. 6 その他 | | 25 | 海野 |
| 5. 遊離砥粒加工への応用 5. 1 超音波砥粒加工法の原理 5. 2 超音波砥粒加工装置 5. 3 穴加工 5. 4 輪郭打抜き加工 5. 5 型彫り加工 5. 6 その他 | | 20 | 小玉 |

| | | | |
|--|---------|-----|----------------------------------|
| 6. 接合への応用 6. 1 金属接合の原理 6. 2 金属接合の種類と装置 6. 3 金属接合の応用例 (1) ワイヤボンディング ほか 6. 4 プラスチック接合の原理 6. 5 プラスチック接合の種類と装置 6. 6 プラスチック接合の応用例 6. 7 その他 | 応力除去法など | 35 | 辻野 石渡 小玉 西村 |
| 7. プラスチック成形加工への応用 7. 1 射出成形加工 7. 2 スタンピング 7. 3 その他 | | 20 | 佐藤 野口 |
| 8. マイクロ加工への応用 8. 1 塑性加工 8. 2 切削加工 8. 3 研削・遊離砥粒加工 8. 4 その他 | | 20 | 野口 神 小玉 |
| 合計 | | 265 | |

4. 2 単行本「超音波応用加工」の発刊

前項で企画した単行本が「超音波応用加工」のタイトルにて、2004年5月20日に森北出版から発刊された。同本は好評を博し、順調に売り上げを伸ばし、超音波応用加工に携わる技術者、研究者、あるいはこれから試みようとする方々の技術的よりどころとなった。最近になり、第2刷も発行された。発刊された単行本の表紙を図2に示す。



図2 単行本「超音波応用加工」の表紙

5. 超音波応用加工関連技術に関する文献調査

超音波応用加工技術は横断的技術であって、振動工学、電気および加工などの技術が総合されている。したがって、同技術に関する先人や他者の調査は容易ではない。そこで、共同研究者間で特に強い分野に関して過去から現在までの超音波応用加工関連の文献を調査し、体系化して整理することとした。

これらの貴重な数多くの文献情報を収集・分析・整理し、

研究者や技術者に提供することは、超音波応用加工技術の研究状況の把握と、将来の技術開発や研究の方向性を決める上で役立つものとなると考えられる。そこで、収集した文献は出典情報と抄録とともにCD-ROMにまとめて収録した。CD-ROMの外観を図3に、収録した雑誌および収集担当者の一覧を表1に示す。収録分件数は1423件であり、中にはロシアの貴重な過去の文献も含まれている。完成したCD-ROMは最終的に、(社)日本塑性加工学会超音波応用加工分科会委員(現在46名)に無償で配布し、役立ててもらうことにした。超音波応用加工に関する研究動向、あるいは状況を把握する上で、また、将来の技術開発や研究の方向性を決める上で役立つものとなると期待できる。



図3 超音波応用加工文献検索CD-ROM

表1 収録した雑誌名と担当者一覧

| NO. | 雑誌名 | 調査担当者 |
|-----|------------------|-------|
| 1 | 機論C | 竹増 |
| 2 | 機械と工具 | 神 |
| 3 | 潤滑 | 片岡 |
| 4 | 精密工学会誌 | 神・村川 |
| 5 | 精密工学会春講演論文集 | 神・村川 |
| 6 | 精密工学会秋講演論文集 | 神・村川 |
| 7 | 素形材 | 浅見 |
| 8 | 塑加学会シンポジウムテキスト | 真鍋 |
| 9 | 塑性加工春期講演会講演論文集 | 真鍋 |
| 10 | 塑性加工連合講演会講演論文集 | 真鍋 |
| 11 | 塑性と加工 | 片岡 |
| 12 | 超音波TECHNO | 加藤 |
| 13 | 電子情報通信誌 | 井上 |
| 14 | 電子情報通信学会技術研究会報 | 井上 |
| 15 | トライボロジスト | 片岡 |
| 16 | 砥粒加工学会誌 | 神 |
| 17 | 日本音響学会誌 | 加藤 |
| 18 | 日本音響学会論文集 | 加藤 |
| 19 | 日本機械学会講演論文集 | 竹増 |
| 20 | 日本機械学会誌 | 竹増 |
| 21 | 日本金属学会会報 | 浅見 |
| 22 | プレス技術 | 片岡 |
| 23 | 溶接学会誌 | 辻野 |
| 24 | ICTP | 村川 |
| 25 | IEEE | 辻野 |
| 26 | CIRP | 村川 |
| 27 | JSAF | 辻野 |
| 28 | アメリカ音響学会誌 (JASA) | 井上 |
| 29 | ロシアの文献 | 井上 |
| 30 | Ultrasonics | 加藤 |

6. まとめ（超音波応用加工技術高度化に向けての提言）

超音波振動を塑性加工や切削・研削加工等に应用する技術の始まりは古く1960年代までさかのぼる。今日まで、さまざまな変遷を経ながら発展してきた。ただし、これまで、超音波砥粒加工や超音波溶着技術などを除き、どちらかと言うとニッチな分野での利用に限られてきた。

それに対し、現在では、環境対応加工、精密塑性加工あるいは微細塑性加工に対する対応技術として大きな注目を集めている。今後は、その時流に乗って技術開発が活発に進み技術の高度化が進むものと期待できる。その趣旨に鑑み以下の高度化提言を述べて結びとする。

- (1) 環境対応加工法としての利用は、超音波の摩擦低減効果による。すなわち、超音波を付加することによっておおよそどんな材料でも摩擦抵抗を1/2以下に低減することができる。これを金型に上手に利用することにより、ドライ・ニアドライプロセスが可能になる。いかにうまく金型に応用するかが技術の鍵を握る。
- (2) 精密塑性・切削加工法としての利用は、従来からの利用法の延長であると言える。この場合も、ますます精度が向上しているプレスや工作機械に超音波機器をいかにうまく当てはめていくかが重要となる。やはり、超音波振動の高精度化や安定性の達成が技術の鍵となる。
- (3) 微細加工プロセスへの応用としては、同技術は正に最新の技術であり、ニーズとシーズが交錯している状況である。したがって加工プロセスも百花繚乱である。その中で超音波応用加工技術は最有力視されている技術の一つであろう。われわれも含めて同技術に携わる関係者の果敢な挑戦に期待するところである。

謝辞

本研究開発課題は現在注目されている加工法である超音波応用加工技術の更なる高度化に取り組んだ社会的にも重要なものであり、(財)天田金属加工機械技術振興財団より研究開発助成AF2002012をいただいて推進できたことを深く感謝致します。

参考文献

- 1) (社)日本電子機械工業会編：超音波工学(1996)、コロナ社。
- 2) (社)日本塑性加工学会編：第199回塑性加工シンポジウム(2000)。
- 3) 超音波応用加工分科会：第201回塑性加工シンポジウム

(2001),85-88

- 4) (社)日本塑性加工学会編：超音波応用加工, (2004),
コロナ社.
- 5) 神雅彦：第234回塑性加工シンポジウム (2004).
- 6) 神雅彦：第244回塑性加工シンポジウム (2006).