

粘塑性圧媒加工法による微細穴あけ加工技術の開発

三重大学 工学部 機械材料工学科

教授 黒崎 靖

(昭和63年度研究開発助成 AF-88016)

1. 研究の背景

近年、工業製品の高付加価値化策の一環として、電子部品や精密機器を中心に軽薄短小化および集積化が進み、これを支える加工技術の一つとして、微細穴加工の役割が重要になってきた。この種の加工法としては、現在、リソグラフィ、小径ドリル加工、放電加工、レーザ加工、電子ビーム加工などが採用されているが、いずれも生産性もしくは設備費の面で難点がある。生産性および経済性の点では塑性加工的手法が有利であり、せん断加工においてもマイクロ化が進みつつある。しかし、一般に、穴径が小さくなると、パンチの強度不足による折損、パンチの製作上の問題、クリアランスの正確な設定の困難さ、工具のスペースの制約、などの理由から加工可能な穴径やピッチは限られる。よって、これらの問題のない新しいタイプの微細穴あけ技術の開発が要望されている。

2. 研究の目的

塑性加工様式を持ちながらも微小径・微小ピッチの穴加工が可能な新しい加工技術を開発することを主目的とし、その方法としては、先に著者が発案した“粘塑性圧媒加工法 (VMプロセス)”の応用を試みることにした。本法の説明を図1に示す。無定形の粘塑性圧力媒体を高速圧縮する時発生する高圧もしくは超高圧と呼ばれる圧力場を利用して、パンチおよび板押え工具なしで所要の加工を実施するものである。

本研究では加工対象を下記のように設定し、VMプロセスの適用性を基礎的に明らかにすることにより上述目標の達成をねらった。

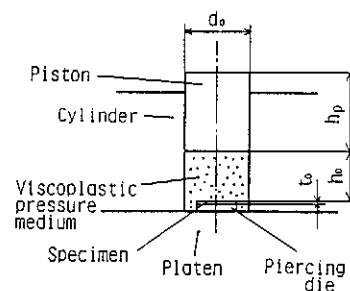


図1 粘塑性圧媒加工法 (VMプロセス) による微細穴あけ

- (1) 電子部品用銅箔の微細穴あけ加工
- (2) ガラス・セラミックス等の硬脆材料の微細穴あけ加工

3. 研究成果の概要

3.1 電子部品用銅箔の微細穴あけ加工

1) 材料の基礎特性の研究

電子部品用銅箔の微細穴あけ加工条件を解明するためには、材料の降伏および破壊特性に関する基礎的情報が不可欠であるが、ミクロン台の厚さの極薄板に適用できる材料試験法は確立されていない。そこで、厚さ5 μm までの銅箔に適用できる単軸引張り試験法および等2軸引張り試験法 (マイクロバルジ試験法) を新たに開発し、材料の基礎特性を調べた。この結果、降伏応力には板厚依存性はなく、いわゆるPetch則が成立し、塑性力学的にはBassaniもしくはHillの異方性降伏関数が適用できることが分った。こうして、降伏応力に関しては、厚さ5 μm になっても通常厚さの多結晶板と同様に連続力学的取扱いが可能であることを明らかにした。一方、破壊機構および限界ひずみは板厚に強く依存し、板厚が減少するほ

ど材料の延性が著しく低下すること、およびその理由を明らかにした。

2) VMプロセスによる多数微細穴の同時加工

シリコンポリマを圧力媒体とするVMプロセスを用いて、厚さ5~100 μm の銅箔に9個の微細丸穴を1ショットで加工する実験を系統的に行った。この結果、加工圧力、加工穴精度および性状に及ぼす加工条件（穴径、ピッチ、加工速度、材料性質など）の影響を明らかにするとともに、正常な貫通穴を加工できる条件を見出すことができた。硬質銅箔に微細穴あけを行ったサンプルの写真を図2に示す。このように、特別の条件下ではあるが、穴径50 μm 、ピッチ75 μm （さん幅25 μm ）という、従来のプレス加工では困難な小径・小ピッチの穴加工を達成することができた。

3) AFMプロセスによる高精度化の提案

前述のようにVMプロセスは特別な材質条件下では有効なことが判明したが、一般的には、穴壁に抜き屑が残留したりバリが発生したりすることがあり、実用上不十分と考えられた。そこで、改善策として高圧砥粒流動加工 Abrasive Flow Machining (AFMプロセス)を導入した複合加工法 (VM/AFMプロセス)の開発を行った。その方法はきわめて簡単であり、圧力媒体(シリコンポリマ)中に微粒研磨材を混入する点のみがVMプロセスと異なる。加工の初期段階ではVM作用により貫通穴を形成させ、その後、AFM作用により残留抜き屑およびバリを切削除去することを

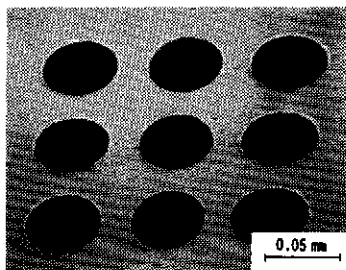


図2 軟質銅箔に対する微細穴あけ試験結果
(厚さ5 μm 、穴径50 μm 、ピッチ75 μm)

ねらった。研磨材として#8000のアルミナ砥粒を採用し、混合比(重量比)をシリコンポリマ:アルミナ砥粒=4:1として、90MPaの圧力下で軟質銅箔に微細穴加工を行った場合のサンプル写真を図3(a)~(c)に示す。図より、ピストン押し込み量Sの増加に伴い加工穴が改善されることが分る。こうして、被加工材料の材質に関せず、VM/AFMプロセスにより高精度微細穴あけが可能となった。

3.2 ガラス・セラミック等硬脆材料の微細穴あけ加工

1) 普通寸法の穴あけ加工

VMプロセスで発生する高圧力場のもとで脆性破壊現象をうまく制御すれば、ガラス・セラミックス等の難加工硬脆材料に微細穴あけ加工を達成

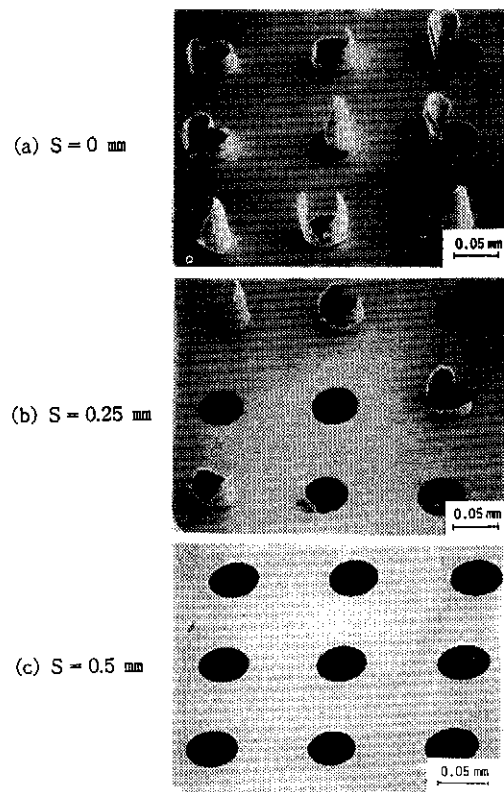


図3 VM/AFMプロセスによる加工穴の改善状況
(軟質銅箔、厚さ5 μm 、穴径50 μm 、ピッチ150 μm)

できる可能性が考えられた。そこで、まず加工条件に関する基本的な条件を調べるため、普通寸法（直径1～5mm）の穴あけを対象に、ドロップハンマ装置による衝撃加圧法を採用して理論的および実験的検討を行った結果、本法が有効であることを確かめた。また、油圧プレスのような比較的低速の汎用加工機によっても加工できるように改善した。さらに、VM/AFMプロセスを採用することにより、加工穴の高精度化を達成できることを見出した。

2) VM/AFMプロセスによる微細穴あけ加工

上述実験結果をふまえ、VM/AFMプロセスにより厚さ80 μm のホウケイ酸ガラス板に穴径300 μm の単一微細穴を加工することを試みた。この結果、本法により穴あけを達成するとともに最適加工条件を明らかにすることができた。得られたサンプルの写真を図4に示す。さらに、この材料に穴径300 μm の多数微細穴の同時加工を試み、加工可能な条件を明らかにすることができた。この場合のサンプル写真を図5に示す。

このようにして、慣用のプレス加工で不可能であったガラス板の微細穴あけ加工を達成し、VM/AFMプロセスが新しい加工技術として利用できる指針を得ることができた。

4. おわりに

微細穴ダイスの製作にご援助いただいた松下技研(株)および三菱電機(株)名古屋製作所に感謝致します。また、本研究は、天田金属加工機械技術振興財団、マツダ財団ならびに文部省科学研究費（昭和63年度～平成2年度、一般研究（C））の補助を受けたことを付記して感謝致します。

5. 発表論文

1) 黒崎・竹内・飯田：電子部品用銅箔の降伏及び破壊特性、平成元年度塑性加工春季講演会講演論文集、(1989)、425 - 428頁。

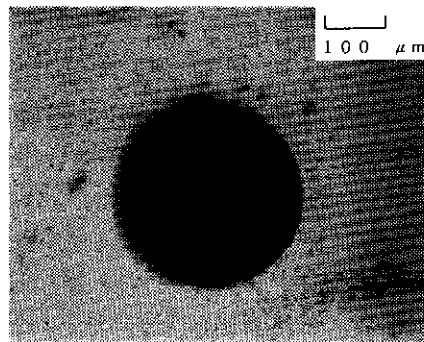


図4 VM/AFMプロセスによるガラス板の単一穴加工のサンプル写真（ホウケイ酸ガラス板、厚さ80 μm 、穴径300 μm ）

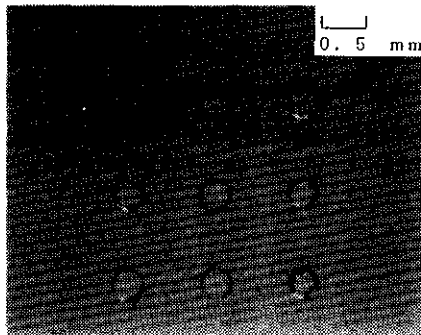


図5 VM/AFMプロセスによるガラス板の多数穴同時加工のサンプル写真（ホウケイ酸ガラス板、厚さ80 μm 、穴径300 μm 、ピッチ0.9mm）

2) 黒崎・安田・加藤：粘塑性圧媒加工法（VMプロセス）によるガラス板の穴あけ、平成元年度塑性加工春季講演会講演論文集、(1989) 49 - 52頁。

3) 黒崎・加藤：粘塑性圧媒加工法によるガラス板の穴あけ（低速加圧の場合）、平成2年度塑性加工春季講演会講演論文集、(1990)、595 - 598頁。

4) Kurosaki, Y., Fujishiro, I., Miyake, Y. and Furukawa, Y. : A Piercing Technique for Glass Sheets by the Impact Compression of a Viscoplastic Pressure Medium, JSME International Journal, Series III, Vol. 32, No. 2, (1989), pp. 330 - 337.

5) Kurosaki, Y., Mizukusa, T. and Miyake, Y., A Simple Piercing Process Applicable to Brittle Materials, Transactions of the ASME, Series B, Journal of Engineering for Industry, Vol. 112, No. 2, (1990), pp.155 – 160.

6) Kurosaki, Y., Studies on Microplastic Working, Proceedings of the 3rd International Conference on Technology of Plasticity at Kyoto, Advanced Technology of Plasticity, Vol.2, (1990), pp.1059 – 1064.