

マイクロ押込みによる高機能・高品位射出成形用金型の製作

富山県立大学 工学部 機械システム工学科
 教授 植松哲太郎
 (平成9年度研究開発助成 AF-97024)

キーワード：射出成形用金型，虹面，マイクロインデンテーション

1. 研究の目的と背景

射出成形における当面の課題としては、①高能率化、②高精度化、③難加工樹脂への対応、④複雑形状への対応、⑤微細部品化への対応、⑥リサイクル性の向上、および⑦意匠などによる高付加価値化、などが挙げられる。

本研究では、成形品の高付加価値化を目的として、プラスチック部品用金型に虹面創成を行う手法を提案する。

射出成形品に虹面を創成するには、金型に微細な凹凸や溝を創成すればよい。CDなどが前者の、ルーリングエンジンで刻まれたスケールなどに現われる虹面が後者の例である。虹面は光の回折現象によって発現することを考えれば、線状溝であってもピット状であっても不都合はない。限部ら¹⁾は、超音波切削により線状溝から成る虹面を創成できることを示した。

本研究では、虹面を持つ文字や模様を成形することを考慮し、微細なピットによる方法を試みる。ピット作製の手段として超音波振動子およびピエゾ振動子を利用し、以後この方法をマイクロインデンテーション加工と呼ぶ(図1)。

2. 超音波マイクロインデンテーション加工による虹面創成

虹面を出現させるには、金型に微小なV溝やピットを多数創成する必要があるが、寸法的に微細であること、個数が極端に多いこと等を勘案すると、切削や研削による対応は容易ではない。30kHz程度の高周波で振動する振動子の先端に硬質な円錐やV山状工具を装着し、金型表面を打撃すれば能率良く微小なピットを創成できるものと考えられる。

2.1 実験装置および条件

マイクロインデンテーション加工装置の装置外観を図2に示す。振動子には30kHzで縦振動する超音波振動子を使用し、これをMCの主軸に固定ジグを介して装着した。工具は先端を135°の楔形にした外径φ5mmの超硬合金をホーン先端にろう付けしてある。被加工材には金型鋼材(S55C, HPM7, HPM50, NAK80)を鏡面研磨したものを使用した。被加工材は工具欠損防止のため定圧テーブル上に固定した。その他の実験条件を表1に示す。

2.2 虹面創成実験

2.2.1 加工条件の検討

(1) ピッチの影響(図3)：彫り込み量 $a=5\mu\text{m}$ 一定、被加工材はHPM50として、ピッチを $p=0.55\sim 6.6\mu\text{m}$ 変化させ、

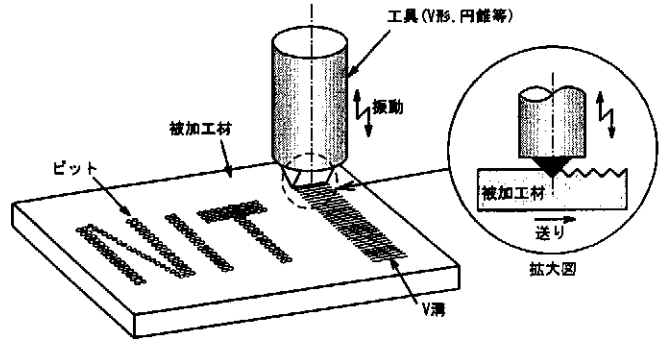


図1 マイクロインデンテーション加工法

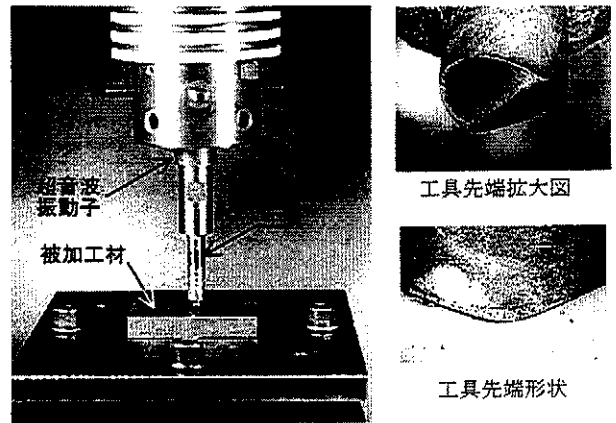


図2 超音波マイクロインデンテーション加工装置外観

表1 実験装置および条件

使用機械	縦型MC (MT-V10, マツック)
振動装置	超音波複合振動発生装置 (SB-150, 29.3±2.2kHz, 縦振動, 多賀電気)
工具	V形工具(φ5mm, 先端角135°, 先端丸み半径≒1mm, 振幅27.5μm ^{PP} , 超硬)
被加工材	S55C (HRC14, 初期面: 鏡面) HPM7 (HRC32, 初期面: 鏡面) HPM50 (HRC38, 初期面: 鏡面) NAK80 (HRC43, 初期面: 鏡面)
加工条件	$p=0.55, 1.6, 2.8, 6.6\mu\text{m}$ $V_w=1000, 3000, 5000, 12000\text{mm/min}$ $a=1, 5, 10, 15\mu\text{m}$

その影響を調べた。インデンテーション加工後、明瞭な虹面が創成された場合を○、それ以外を×で表した。 $p=0.55\mu\text{m}$ ($V_w=1000\text{mm/min}$)と狭い場合、微細なピットは形成されていたが虹面は創成されなかった(×)。 $p\geq 1.6\mu\text{m}$ ($V_w\geq 3000\text{mm/min}$)にすると規則正しいピットが形

成され、虹面創成も可能であった(O)。しかし、 $p=6.6\ \mu\text{m}$ ($V_w=12000\text{mm/min}$)のように広くしすぎると、ピットは形成されず、加工表面での虹面も確認できなかった(X)。なお、被加工面上の送りと平行な畝はV形工具先端部に微細な凹凸があるためである。

(2) 彫り込み量の影響(図4)：ピッチ $p=2.8\ \mu\text{m}$ ($V_w=5000\ \text{mm/min}$)、被加工材はHPM50として、彫り込み量を $a=1\sim 15\ \mu\text{m}$ と変化させ、その影響を調べた。 $a=1\sim 5\ \mu\text{m}$ とした場合は比較的きれいなピットが形成され、良好な虹面が創成可能であった(O)。しかし、 $a=10\ \mu\text{m}$ のように大きくすると、虹面中に粗い間隔で細い線状痕が確認された。 $a=15\ \mu\text{m}$ とした場合、ピットはほとんどつぶされてしまい、虹面中の線状痕はより明瞭に現れた(X)。

(3) 被加工材質の影響(図5)：若干軟質の金型鋼材(HPM7, S55C)に対し虹面創成を試みた。その結果、被加工材の硬さに関係なく加工面上にピットが形成され、虹面創成可能であった。

2.2.2 虹面裝飾成形品の試作(図6)

本手法により虹面加工を行った金型(NAK80)を用いて虹面裝飾成形品($\phi 20\text{mm}$, $t 0.5\text{mm}$, PMMA)の射出成形($T_p=240^\circ\text{C}$, $T_q=80^\circ\text{C}$, $P=106\text{MPa}$)を試みた。その結果、金型に創成した虹面が成形品にも転写され、虹面裝飾成形品が得られた。

2.3 まとめと課題

30kHzで縦振動する超音波振動子を利用したマイクロインデンテーション加工により、V形工具を金型面に微少に食い込ませることで金型表面に虹面を創成できることが明らかになった。

今後の課題として、①より高品質の虹面を創成すること、②NC制御による文字や絵の描画、③自由曲面への対応等が挙げられる。①に関しては工具先端形状や加工条件を検討することで、②に関しては振動数の低い振動子(ピエゾアクチュエータ等)を用いることで実現できると思われる。

3. ピエゾ振動子によるマイクロインデンテーション加工

前節では、30kHzで超音波振動する楔形工具を用いて虹面創成条件を調べた。その結果、ピッチを $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 、彫り込み深さを $1\sim 5\ \mu\text{m}$ とすれば虹面が創成できることがわかった。しかし、上記ピッチを実現するには、工具または被加工材の送り速度を $3\sim 5\text{m/min}$ とする必要があり、このような高速度域で微細かつ複雑な模様や文字を創成するのは容易ではない。

本節では、能率は若干低下するものの、一般のNC加工装置の送り速度に対応でき、かつ送り速度の変化に対応して振動数の制御が可能なピエゾ振動子を用いて虹面創成を試みた。

図7にピエゾ振動子方式による装置の構成図を示す。ピエゾ方式の振動数は超音波方式より低い、関

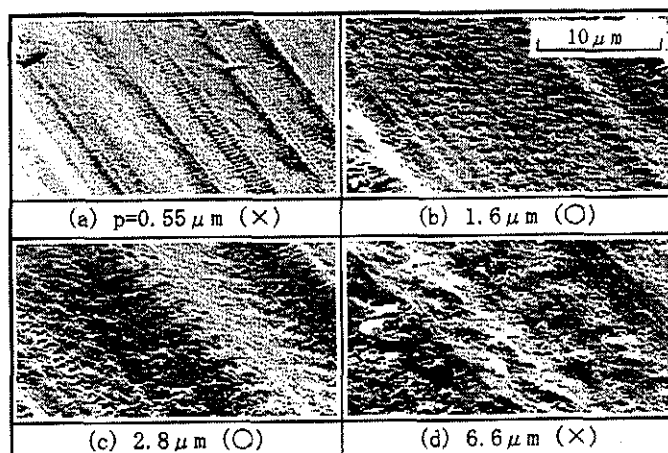


図3 ピッチの影響 ($a=5\ \mu\text{m}$, HPM50, V形工具)

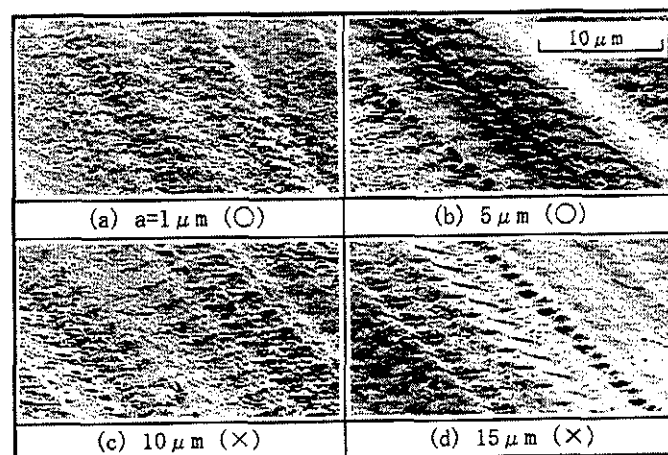


図4 彫り込み深さの影響 ($p=2.8\ \mu\text{m}$, HPM50, V形工具)

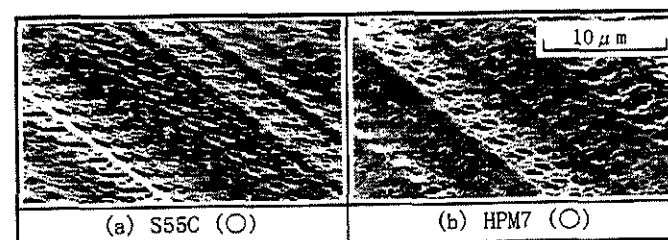
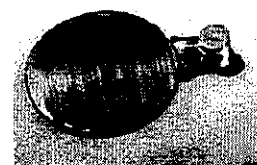


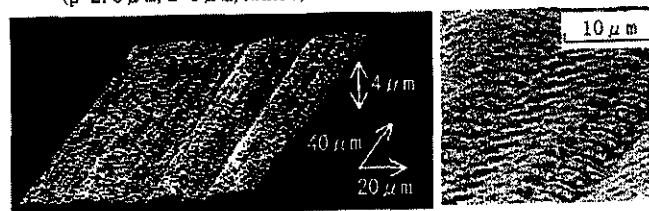
図5 被加工材質の影響 ($p=2.8\ \mu\text{m}$, $a=5\ \mu\text{m}$, V形工具)



(a) 虹面裝飾金型 ($p=2.8\ \mu\text{m}$, $a=5\ \mu\text{m}$, NAK80)



(b) 虹面裝飾成形品 (PMMA)



(c) 成形品表面性状 (PMMA, $T_p=240^\circ\text{C}$, $T_q=80^\circ\text{C}$, $P=106\text{MPa}$)

図6 虹面裝飾した射出成形用金型および射出成形品

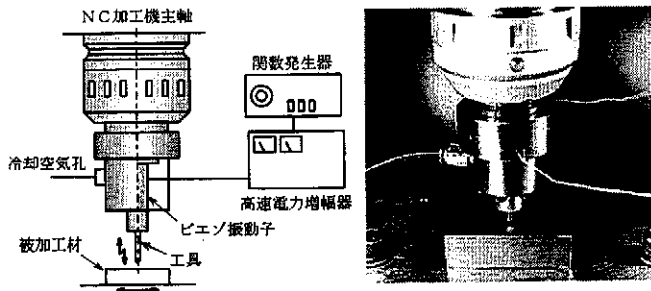


図7 ピエゾ振動子を用いたマイクロインデンテーション装置

数発生器などの外部信号により必要に応じて時々刻々の振動数を変化させ得ることが最大の利点である。ピエゾ方式と超音波方式の特徴の比較を表2に示す。

3.1 虹面創成実験および結果

ピエゾ素子の振動数 $f=500\text{Hz}$ 、振幅 $\delta=10\mu\text{m}$ の条件下で被加工材(NAK80)表面にR付与楔形工具(先端角 $\theta=135^\circ$ 、先端 $R=0.4\text{mm}$ 、幅 3mm)によりピットを創成した。振動波形はサイン波とした。実験装置の仕様および条件を表3に示す。

(1) ピッチおよび彫り込み深さの影響(表4): 彫り込み深さ $a=1\sim 3\mu\text{m}$ 、ピッチ $p=3\sim 5\mu\text{m}$ ($V_w=90\sim 150\text{mm/min}$)の範囲で良好な虹面が創成された。

(2) 被加工面性状(図8(a)): 良好な虹面が創成された被加工面($p=3\mu\text{m}$, $a=3\mu\text{m}$)をSEM観察した。所定のピッチでピットが創成されていることがわかる。

(3) 工具先端形状の影響(図8(b)): 工具先端にRを付与せず、鋭利な楔形工具(先端角 $\theta=135^\circ$)を使用してピットの創成を試みた。その結果、被加工面はシェービングされることなしに形状の整ったピットが創成され、輝度の高い、良好な虹面が得られた。

(4) 射出成形への適用(図9): R付与円錐工具(先端角 $\theta=90^\circ$ 、先端 $R=0.2\text{mm}$)を使用して金型面上に虹面文字および模様を創成し、この金型を用いて射出成形を行った結果、虹面装飾された成形品(PMMA, $30\times 50\times 1.0\text{mm}$)が得られた。

3.2 虹面創成メカニズムの考察

虹面が創成されるには、加工面が回折格子となっている必要があり、回折光は、 $m\lambda=d(\cos\alpha-\cos\beta)$ を満足する角度に現れる(図10)。ここで、 λ :波長、 d :格子間隔、 α :入射角、 β :回折角、 m :回折次数である。今回、格子間隔(ピッチ)を $3\sim 5\mu\text{m}$ とした時に良好な虹面が創成されたのは、赤色($\lambda=650\text{nm}$)、緑色($\lambda=500\text{nm}$)、紫色($\lambda=440\text{nm}$)の回折光の回折角が十分離れている(ここでは 5°)ためと考えられる。

3.3 まとめと課題

ピエゾ振動子を利用して工具(楔形、円錐形)を金型面に微少に食い込ませることで金型表面に虹色の文字を創成できることを明らかにした。しかし、実用的な観点からは、①より高品質の虹面を創成すること、および②比

表2 虹面創成用マイクロインデンテーション装置の方式比較

比較項目	(a) ピエゾ方式	(b) 超音波方式
工具振動源	ピエゾアクチュエータ	超音波振動子
工具振動数	~5kHz	20~60kHz
工具振動波形	サイン波、三角波、方形波	サイン波
振動数の変化	関数発生器により選択	共振振動数に固定
工具の寸法・形状	制約少ない	制約→共振利用
必要装置	ピエゾアクチュエータ+関数発生器+高速電力増幅器	超音波振動子+超音波発信器
振動子の寿命	若干短い	長い
NC機械への対応	MC, GC, EDM	MC, GC
装置全体の価格	若干高い	安価
虹面創成能率	超音波方式の1/4~1/12	高い
工具送り速度範囲	広い→振動数可変	特定な高速領域($\approx 3\sim 9\text{m/min}$)→振動数固定
工具軌跡への対応	対応可能→振動数減少	輪郭角部での送り速度減速に対応不可

表3 実験装置の仕様および条件

振動装置	縦型MC(MT-V10, ヤマザキマザック)+積層ピエゾアクチュエータ(ASB170C801FP0, 株式会社キーン)+高速電力増幅器(4025, NF回路ブロック)+関数発生器(FC-122, NF回路ブロック)
工具	R付与楔形工具($\phi 3\text{mm}$, 先端角 $\theta=135^\circ$, 先端 $R=0.4\text{mm}$, 超硬) 楔形工具($\phi 3\text{mm}$, 先端角 $\theta=135^\circ$, 鋭利(先端 $R<0.1\text{mm}$), 超硬) R付与円錐工具($\phi 3\text{mm}$, 先端角 $\theta=90^\circ$, 先端 $R=0.2\text{mm}$, 超硬)
被加工材	NAK80(HRC=40, 初期面:鏡面)
加工条件	工具振動数: $f=500\text{Hz}$, 振幅: $\delta=10\mu\text{m}$, 振動波形:サイン波 ピッチ: $p=1\sim 15\mu\text{m}$, ワーク送り速度: $V_w=30\sim 450\text{mm/min}$, 彫り込み深さ: $a=1\sim 5\mu\text{m}$, トラバースピッチ: $pt=0, 50\mu\text{m}$

表4 ピッチおよび彫り込み深さの影響 (R付与楔形工具, NAK80)

		ピッチ [μm]				
		1	3	5	10	15
彫り込み深さ [μm]	1	×	◎	◎	△	△
	2	×	◎	◎	△	△
	3	×	◎	◎	△	△
	5	×	△	△	△	△

虹面適合 ◎:良, △:ほぼ良, ×:不可

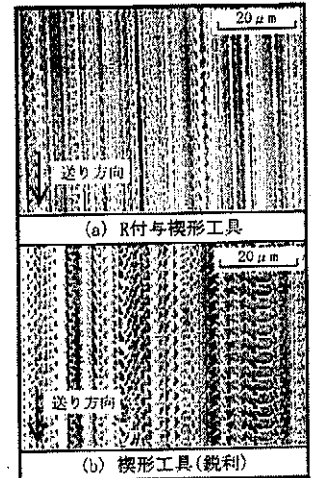
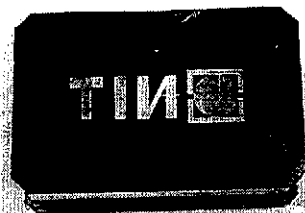
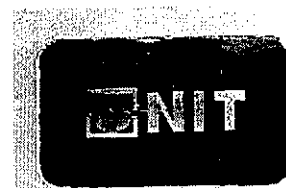


図8 被加工面性状 ($\theta=135^\circ$, $p=3\mu\text{m}$, $a=3\mu\text{m}$, NAK80)



(a) 虹面装飾金型 ($p=3\mu\text{m}$, $a=3\mu\text{m}$, $pt=50\mu\text{m}$, R付与円錐工具, NAK80)



(b) 虹面装飾成形品 (PMMA)

図9 虹面装飾した金型および射出成形品

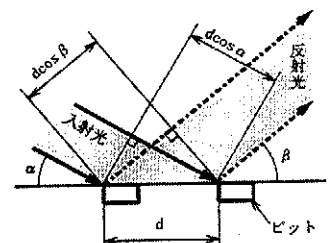


図10 虹面創成の原理

表5 各種圧子先端形状

振動方向	垂直			傾斜		
	(a)円錐	(b)傾斜端面	(c)円柱	(d)円錐台	(e)円柱	(f)円錐台
圧子先端形状						
特徴	圧子側面との平行磨削し難 潤滑油に露上り バリ発生	先端は口丸味可能 ビット幅拡大 エッジ強度に不安	←	ビット幅最小可能 エッジ強度増大	先端は口丸味可能 エッジ強度に不安	ビット幅最小可能 エッジ強度増大

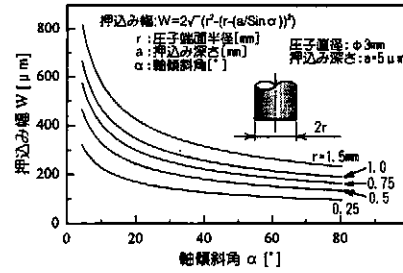


図11 円錐台圧子寸法とビット幅の関係

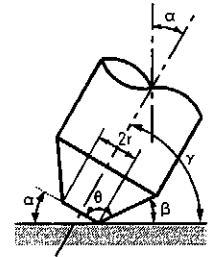


図12 圧子先端状況模式図

較的高価な振動発生装置(関数発生器, 高速電力増幅器)を用いずにマイクロインデントレーション加工を実現することが課題となる。①に関しては, 工具先端形状や加工条件を, ②に関しては関数発生器および高速電力増幅器と同類の機能を有する放電加工機用電源を改造することで実現できるものと思われる。

4. 虹面創成のための圧子形状の検討

本節では, より高能率に虹面を創成する方策として, 円柱状圧子を傾斜させて斜めに押込む“傾斜軸法”を採用し, 虹面模様や文字を作成するのに適当なビット幅の創成と圧子摩耗の抑制を目的に, 傾斜軸法用圧子の最適形状の検討を行なった。

4. 1 既存虹面創成法における問題点

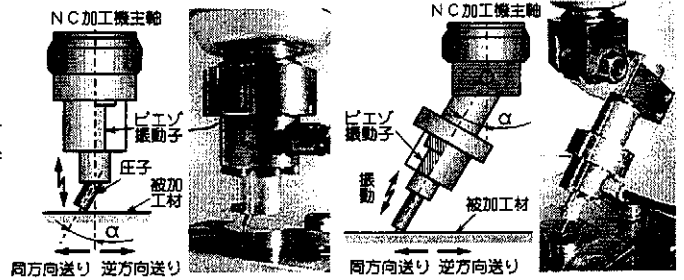
(1)垂直押込み法における問題点: これまでの実験から, 表5 (a)の円錐圧子を用いた予備実験(θ=110°~130°)より, ビット両サイドに盛り上がりやバリが発生すること, 圧子先端部が摩耗しやすいことがわかった。また, 広い領域に虹面を創成することを目的に広いビット幅を得られる傾斜端面圧子(表5 (b))を採用したが, 刃先エッジ部の欠損や摩耗が顕著となった。

(2)傾斜押込み法における問題点: 既存垂直押込み法の問題点に対処するため, 所定角度傾けた円柱状圧子を軸方向に振動させながら, 押込む方法(表5 (e))を試み, 虹面創成域が垂直押込み法より広くとれることがわかった。ここでは, 圧子の強度および先端部の寿命を保ちつつ能率良く虹面を創成するため, 表5の(d)および(f)のような円錐台圧子による虹面創成を試みた。図11に円錐台圧子寸法とビット幅との関係を示す。

4. 2 虹面創成実験

(1)実験装置および条件: 振動付与は, ピエゾ素子(ASB170C801NPO, トーキン)により行なった。被加工材(NAK80, H_vC=40)表面に圧子先端径の異なる円錐台圧子(φ3mm超硬, 刃先角θ=120°, φ0.5~2.0mm)を使用して, ビットを創成した。圧子先端状況模式図を図12, 縦型MC(MT-V10)による実験状況を図13に示す。

(2)実験方法: 圧子を前報で虹面の発現が確認された軸傾斜角度α=30°に固定し, 圧子の押込み角度(前出表5)およびワークの送り方向を変えて虹面創成を試みた。圧



(a)垂直押込み法 (b)軸傾斜押込み法

図13 傾斜圧子による虹面創成状況図

表6 虹面創成可能領域

(θ=120°, α=30°, f=500Hz, δ=12μm, p=5μm, a=5μm)

圧子先端径 φ [mm]	0.5		1.0		1.5		2.0		
	同	逆	同	逆	同	逆	同	逆	
送り方向	同	逆	同	逆	同	逆	同	逆	
観察方向	同	逆	同	逆	同	逆	同	逆	
垂直押込み	幅[μm]	113	—	119	—	118	—	127	
	蛍光灯	○	○	不	不	○	○	不	不
	電球	○	○	不	不	○	○	不	不
傾斜押込み	幅[μm]	67	137	103	121	121	116	105	189
	蛍光灯	△	△	○	○	○	○	○	○
	電球	○	○	○	○	○	○	○	○
	太陽光	○	○	○	○	○	○	○	

○:良, △:可, ×:不可(目視判定), 不:圧子の送り移動不

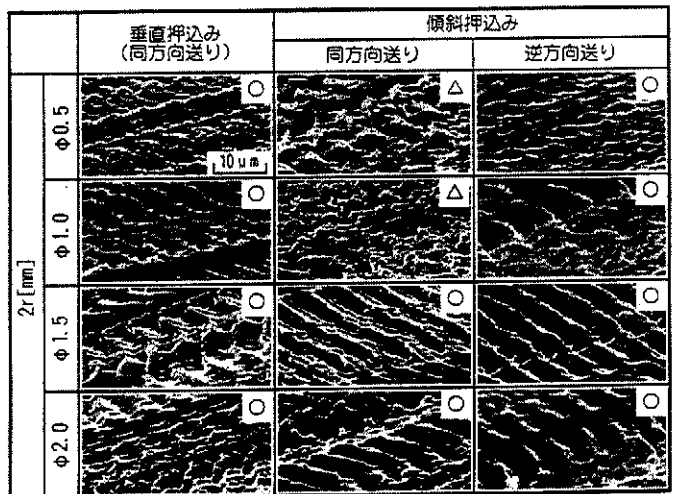


図14 圧子先端径とビット性状

(円錐台圧子, θ=120°, α=30°, f=500Hz, δ=12μm, p=5μm, a=5μm)

子の押し込み角度は、主軸に対して垂直および30°傾斜である。ワークの送り方向は、同方向、逆方向である。

(3)結果の判定基準：虹面発現の可否は目視にて行い、虹面の度合いが良好な場合「○」、ほぼ良好な場合「△」、虹面が確認できない場合は「×」とした。また、表中の「不」は、圧子端面が被加工材表面に引っかかり、加工不能であったことを示している。

(4)実験結果：虹面創成可能領域を表6に、SEM観察した被加工面性状を図14に示す。垂直押し込みの逆方向送りの場合、圧子先端径に関わらず加工不能であった。その他の加工実施領域では、良好な虹面の発現を確認した。

ピット幅は、圧子端面の刃先角に対応して変化するが、いずれの虹面も比較的幅が広くっており、より幅を狭くする場合は、圧子先端径を小さくすれば良い。

4.3 まとめ

虹面文字や模様作成に適した比較的幅の虹面を創成するため、円錐台圧子を用いて傾斜軸法により、圧子先端径(2r)、軸傾斜角(α)による影響を調べた。その結果、垂直押し込み法の逆方向送り(表5d)の領域で、加工不能であったが、他の場合では、適切な幅の良品質の虹面が創成された。虹面文字、模様を創成する場合、複数回のトラバースを必要とし、送り方向を変化させるため、軸傾斜法による虹面創成法が適していることがわかった。

5. 各種定圧押し込み法の検討

これまでの圧子を所定寸法押し込む従来の定寸押し込み法では、幾つかの問題点があり、より簡便な方法の開発が望まれる。

本節では、既存の問題点を解決するものとして、定圧押し込み法について検討するとともに、その第一段階としてエアシリンダによる定圧方式を試みた。

5.1 既存定寸押し込み法と定圧押し込み法の特徴

既存の定寸押し込み法の特徴を定圧押し込み法との比較で表7に示す。精密なNC加工機を使用する場合には、定寸押し込み法が有位となることもあるが、MCのようにそれほど高精度な位置決めができない機械装置を使用する場合には、ワークの平行出し等が非常に困難となる。これに対し、定圧押し込み法では、厳密な平行出し作業が不要になることに加え、曲面に対しても柔軟に対応できるメリットがある。

5.2 エアシリンダ方式による虹面創成実験

5.2.1 実験装置および条件

実験はNC放電加工機主軸に定圧インデンテーション装置(図15)を取り付けて行なった。圧子の振動は従前のピエゾ素子により、圧子のワークへの押付け力(=装置自重+エアによる押し上げ力)はLMガイド付きエアシリンダ内に所定圧の空気を送ることで調整した。また、圧子の押し込み量が過大になるのを防ぐため、先端丸味半径の大きなダイヤモンド圧子($\phi 3.1\text{mm}$, 先端角 $\theta=130^\circ$, 先端半径 $R=110\mu\text{m}$)を使用した。ピット間ピッチは、これまでの実験および解析結果⁵⁾に基づいて $5\mu\text{m}$ とした。主要な実験条件を表8に示す。

表7 各方式の比較

定寸押し込み方式	定圧押し込み方式
(1)利点 ①押し込み深さの制御性良好 ②材料特性の影響が少ない	(1)利点 ①接点の把握不要 ②ピット深さの設定容易 ③ワークの平行出し不要 ④曲面への対応容易
(2)問題点 ①接点の把握困難 ②押し込み深さの設定困難 ③ワークの完全平行出し必要 ④曲面への対応困難	(2)問題点 ①反力の吸収方法 ②騒動発生危険 ③ガイドによる磨り傷発生

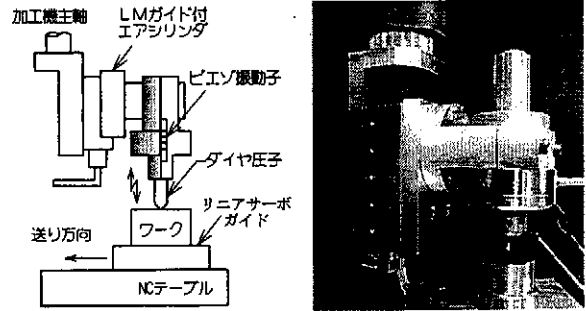


図15 実験状況模式図および外観

表8 実験装置の仕様および条件

実験装置	NC放電加工機(A3R, ソディック) リニアサーボガイド(HRS1150, THK) 横置ピエゾアクチュエータ(ASB170C80:FPD, トーキン) 高周電力増幅器(4025, NF回路ブロック) 周波数発生器(FG-122, NF回路ブロック)
工具	ダイヤモンド圧子($\phi 3.1\text{mm}$, 先端角 $\theta=130^\circ$, 先端 $R=110\mu\text{m}$)
被加工材	NAK80(HfC=40, 初期面:鏡面)
加工条件	工具振動数: $f=100\text{Hz}$, 振幅: $s=0.69\sim 3.78\mu\text{m}$ 振動波形: 矩形波, 正弦波, 三角波 ピッチ: $p=5\mu\text{m}$, ワーク送り速度: $V_w=30\text{mm/min}$ 押付け力: $F=100\sim 1000\text{gf}$

表9 押付け力の影響

($f=100\text{Hz}$, $s=0.69\mu\text{m}$, $p=5\mu\text{m}$, $F=100\text{gf}$)

押込み荷重(gf)	100	200	500	1000
虹発現の可否	○	△	△	△
ピット幅(μm)	19	28	35	57
電球(60W)	○	△	×	×
太陽光	○	△	△	△
蛍光灯	△	△	×	×

(目視判定: ○良好, △可, ×不可)

表11 振動波形の影響

($f=100\text{Hz}$, $s=0.69\mu\text{m}$, $p=5\mu\text{m}$, $F=100\text{gf}$)

波形	虹発現の可否	ピット幅(μm)
矩形波	○	17.4
正弦波	○	18.3
三角波	○	19

(目視判定: ○良好, △可, ×不可)

表10 工具振幅の影響

($f=100\text{Hz}$, $s=0.69\mu\text{m}$, $p=5\mu\text{m}$, $F=100\text{gf}$)

工具振幅(μm)	0.7	0.8	1.5	2.2	3.8
虹発現の可否	○	○	△	×	×
ピット幅(μm)	19	21	22	30	75
電球(60W)	○	○	△	×	×
太陽光	○	○	△	×	×
蛍光灯	△	△	×	×	×

(目視判定: ○良好, △可, ×不可)

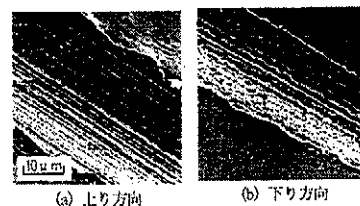


図17 傾斜面に創成された連続ピット性状

($f=100\text{Hz}$, $s=0.69\mu\text{m}$, $p=5\mu\text{m}$, $F=100\text{gf}$, $\theta=15^\circ$)



図16 傾斜面への虹面創成状況

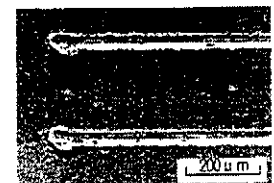


図18 始点付近溝形状

($f=100\text{Hz}$, $s=3.78\mu\text{m}$, $p=5\mu\text{m}$, $F=100\text{gf}$)

5.2.2 実験結果

(1) **押付け力の影響**：圧子の押付け力を $F=100\sim 1000\text{gf}$ と変化させて矩形波で虹面の創成を行なった。実験結果を表9に示す。押付け力が大きいほど、溝両端に盛り上がりができ、 100gf 以上では虹面は発現しなかった。

(2) **振幅の影響**：虹面が発現した 100gf の押付け力で、工具振幅(矩形波)の影響を調べた。結果を表10に示す。圧子の振動振幅が小さいほど溝両端の盛り上がり小さくなるとともに、良好な虹面が得られた。

(3) **振動波形の影響**：圧子振動波形の影響を調べた(表11)。その結果、矩形波に比べ正弦波、三角波のほうが良好な虹面が得られることがわかった。

(4) **結論**：以上の結果から、良好な虹面を創成するためには、低い押付け力、小さい振幅で行うのが良いことがわかった。

5.2.3 傾斜面への適用

良好な虹面が創成された条件($f=100\text{Hz}$, $p=5\mu\text{m}$, $F=100\text{gf}$)で $7\sim 15^\circ$ の斜面に対して虹面の創成(図16)を行った。ピットが連続して単なる溝状を呈しているが(図17)、上り方向、下り方向とも水平面と同様、良好な虹面を創成することができた。

5.3 まとめおよびエアシリンダ方式の問題点

虹面を自由曲面へ創成する方法として、各種定圧押込み法を提案するとともに、圧子振動エア方式を採用して虹面創成を試みた。その結果、ピッチ $p=5\mu\text{m}$ 、押付け力 $F=100\text{gf}$ の条件で良好な虹面が創成されることがわかった。また、傾斜角 15° 以下の面に対して、良好に虹面を創成することができた。しかし、送りが停止している時もピットを打ち続けるため、始点と終点でピット径が大きくなる(図18)といった問題がわかった。これは図19に示すような方式を採用することで解決できるものと思われる。

6. 結び

射出成形品の高付加価値化を目指して、金型面上に多数の微細ピットから成る虹面模様を創成するための手法としてマイクロインデンテーション加工を提案し、各種の方法を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 工具を超音波振動させることにより虹面が創成されるが、工具を $3\sim 5\text{m/min}$ と高速度で送る必要がある。
- (2) 工具をピエゾ振動子で振動させることにより、工具を低速送りしても虹面が創成される。
- (3) 先端が円錐台形状の工具を傾斜送りすることによりピット幅の適切な制御ができる。
- (4) 定寸法押込みより定圧押込みの方が良好な虹面が創成される。

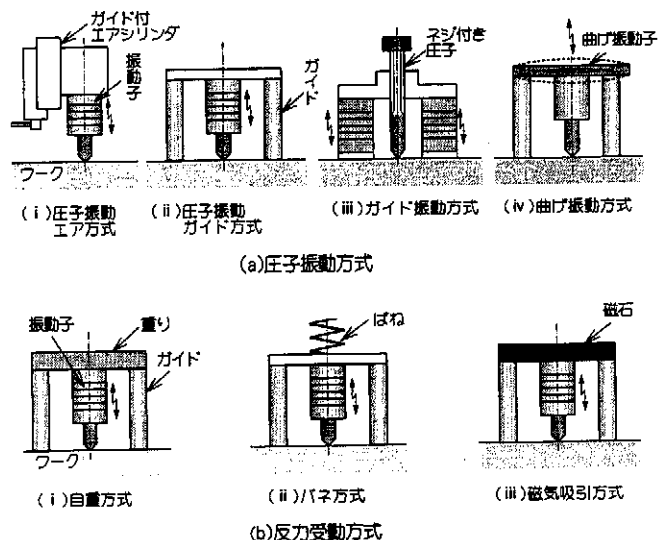


図19 各種定圧押込み法

7. 謝辞

本研究の遂行にあたり、(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を受けたことを記し、深甚なる謝意を表します。さらに研究にご協力いただいた日本工業大学システム工学科鈴木清教授に深く感謝します。

参考文献

- 1) 隈部淳一郎：振動切削 (1979) 93
- 2) 鈴木清, 植松哲太郎他：マイクロインデンテーションによる金型への虹面創成法, 砥粒加工学会ABTEC' 97講演論文集 (1997) 449-450
- 3) 鈴木清, 植松哲太郎他：ピエゾ素子を利用した金型への虹面創成法, 精密工学会秋季大会講演論文集 (1997) 363
- 4) 鈴木清, 植松哲太郎他：金型への虹面創成のための装置(第1報：虹面創成のための圧子形状の検討), 精密工学会秋季大会講演論文集 (1998) 216
- 5) 鈴木清, 植松哲太郎他：金型への虹面創成のための装置(第2報：各種定圧押込み法の検討), 精密工学会秋季大会講演論文集 (1998) 217
- 6) 鈴木清, 植松哲太郎他：定圧ガイド式マイクロインデンテーションによる虹面創成装置, 砥粒加工学会ABTEC' 99講演論文集 (1999) 159-160