

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04131

研究課題名（和文）軟質材料による金属への高精細・高精度転写技術の開発

研究課題名（英文）Development of micro printing for metal surface using soft material

研究代表者

吉川 泰晴（Yoshikawa, Yasuharu）

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：20550544

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：凹凸パターンが印刷された紙や樹脂フィルムを工具として、金属材料の表面に凹凸を転写成形する技術について、そのメカニズムを解明した。金属よりも軟質な紙や樹脂フィルムを工具とし、その工具材質、被加工材の材質と形状、潤滑などの加工条件の凹凸転写への影響を調査した。被加工材の金属が軟質工具を閉じ込めながら変形することで、軟質工具の凹凸を写し取ることが可能となることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属表面に凹凸を成形することで、金属にはなかった質感や意匠性を付与できるほか、摩擦特性や殺菌などの機能も得られる。従来技術ではそのような表面を成形するにはコストが高くなりやすい方法で行われていたが、安価で容易に成形できる技術として、印刷された軟質工具を用いた凹凸転写技術を開発、検討した。この凹凸転写技術のメカニズムを明らかにしたことで、簡単に高精細な凹凸を金属表面に成形できる基礎を築いた。加飾成形のみならず、低摩擦を実現できるテクスチャの開発や、医療機器への適用など、新たな工業応用の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：The mechanism of printing asperity to metal work piece using soft material tool has been clarified. This method uses paper or plastic film with a fine pattern produced by the laser printer as an asperity printing tool. The effects of tool material, material and dimensions of work piece, lubrication conditions to the asperity printing were investigated. As the results of the research, it is clarified that the confine of the soft material tool while deformation of work piece is needed for the asperity printing to metal work piece.

研究分野：塑性加工

キーワード：凹凸転写 軟質工具 印刷 表面凹凸 材料流動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属材料や樹脂材料の表面に微細凹凸を転写する方法として、コイニングやナノインプリントが使われている。これらの加工では製品凹凸と反転した微細凹凸を備えた金型により、被加工材を圧縮し微細凹凸を転写している。この微細凹凸は切削だけでなく、型彫り放電加工やレーザー加工、電子ビーム加工、エッチングなどにより作られる。しかしながら、これらの加工のコストは高く、型の生産性も高くないし、金型は使用とともに摩耗して転写精度を悪化させる問題がある。池らのコイニングに関する研究(1)によると、金属表面に微細凹凸を転写する際、被加工材が塑性流動しなければ転写精度は高くないことを示している。また、工藤ら(2)は円板圧縮時に、直径 d と板厚 t の比、 d/t が大きくなるほど摩擦の影響が大きくなり、微細凹凸の高精度で均一な転写が困難であることを示している。

最近の研究で西、藤田らは爆発成形を用いて、イチヨウの葉の凹凸をチタン板材に転写する技術を提案している(3)。この方法は非常に薄い金属材料に対して転写できるものの、加工法の制約により製品の生産性は高くない。一方、板材の上に葉を乗せて平行平板金型により圧縮する方法でも、軟質材料の凹凸を細部まで転写できることがわかっている。このように、被加工材よりも軟質な材料を型として用いても、金属材料を塑性変形させることができるのは、葉が平板金型での圧縮中に金型と被加工材に閉じ込められて圧力を発生させたためと考えられている。

申請者は軟質な材料も型になり得ることにヒントを得て、紙や樹脂シートなどを使用した新たな転写技術である『マイクロプリント』を考案した。この技術はプリンター等で転写したいパターンを紙や樹脂シートなどに印刷し、これを金属板とともに圧縮して金属板表面にパターンを転写するものである。この加工方法では、紙の表面に焼き付けられたトナーの厚みを利用し、印刷部と非印刷部の段差を金属材料に転写している。

2. 研究の目的

本研究では印刷された紙や樹脂フィルムを工具として、被加工材である金属表面に凹凸転写する際の各種成形条件の転写への影響を調べ、その転写メカニズムを明らかにするとともに、本凹凸転写技術を工業応用可能な技術へと発展させることを目的とする。

3. 研究の方法

厚さや表面状態の異なる各種紙材および樹脂フィルムに対して、レーザープリンターで凹凸パターンを印刷し、円板状の金属試験片上に設置して、これらを平行平板金型内で圧縮することで凹凸転写実験を行い、金属表面に形成された凹凸形状を評価する。

転写実験装置の概略図を図1に示す。金属製の平行平板型に被加工材(金属)と凹凸パターンを有する軟質工具を挟んで設置し、アムスラー型万能試験機により平行平板型を介して加圧し、凹凸を転写する。

平行平板型は直径 60 mm、高さ 25 mm の SKD11 で、鏡面仕上げとした。軟質工具の基材に普通紙、ケント紙、コート紙(連量 90 kg, 135 kg)、ポリエチレンテレフタレート(PET)フィルムの5種類を使用した。図2のように、軟質材料にレーザープリンターで直径 0.5 mm および 1.2 mm 間隔の同心円パターンを各印刷して実験に使用した。例として PET フィルムに印刷した同心円パターンの断面形状を図3に示す。印刷部のトナーの平均厚さは 5.6 μm 、平均線幅は 305 μm であった。あらかじめレーザープリンターで凹凸パターンを印刷した軟質材料を金属試験片上に設置し、これらを上下の平行平板金型により圧縮した。

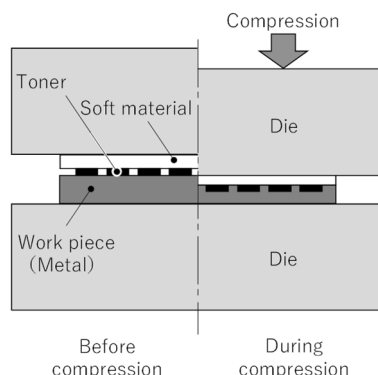


図1 転写実験概略図

金属試験片は厚さ 1 mm の A1050-O 材, A1050-H24, SUS316L とし, 切削により直径 12 ~ 36 mm の円板状に仕上げたものである。試験片表面は圧延仕上げのままとし, 表面粗さは $Sa = 0.343 \mu\text{m}$ である。試験片はアセトン中での超音波洗浄後に試験に供した。最大荷重を変化させて転写実験を行い, レーザー顕微鏡による測定結果から転写精度と均一性を評価した。平均圧力は最大荷重を試験片の初期面積で割って求めた。軟質工具は再利用せず, 毎回未使用のものを試験に使用した。

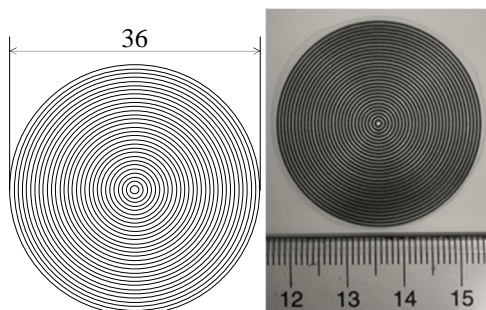


図 2 転写パターンおよび印刷された工具 (PET フィルム)

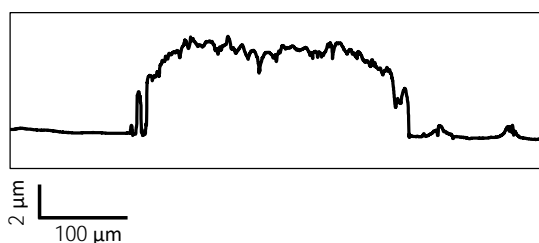


図 3 工具印刷部の凹凸

4. 研究成果

図 4 は各軟質材を用いて, 直径/厚さ (D/t) が 24 の試験片に対して平均圧力を 295 MPa とし て転写実験を行ったアルミニウム板の顕微鏡写真である。左側が中央で右側が円板の端部である。いずれの軟質材を使用した表面においても同心円状の模様を確認できるが, 特に非印刷部の表面が平滑である PET フィルムを使用したものは凹凸を顕著に確認できる。

直径/厚さ (D/t) が 24 における各軟質材料を用いた転写表面の断面形状を図 5 に示す。顕微鏡写真と同様に, PET フィルムを用いて転写実験を行ったものは凹凸が鮮明に転写できている。紙を使用したものは凹凸を鮮明に確認できず, 紙自身の凹凸に印刷部の凹凸が埋もれているものと考えられる。

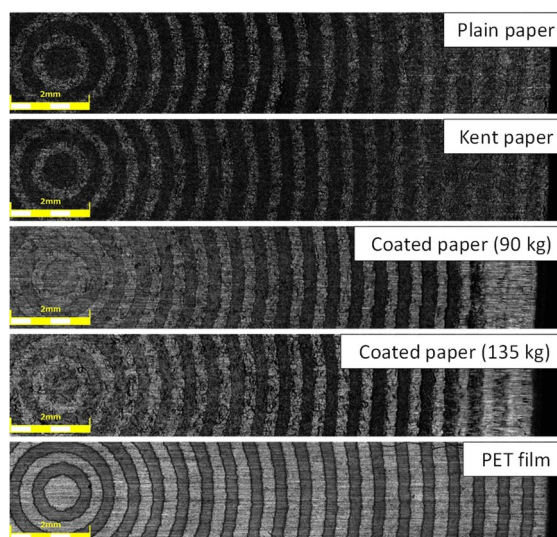


図 4 各軟質工具において転写した A1050-O 円板の様子 ($D/t = 24$, 平均圧力 $p_a = 295 \text{ MPa}$)

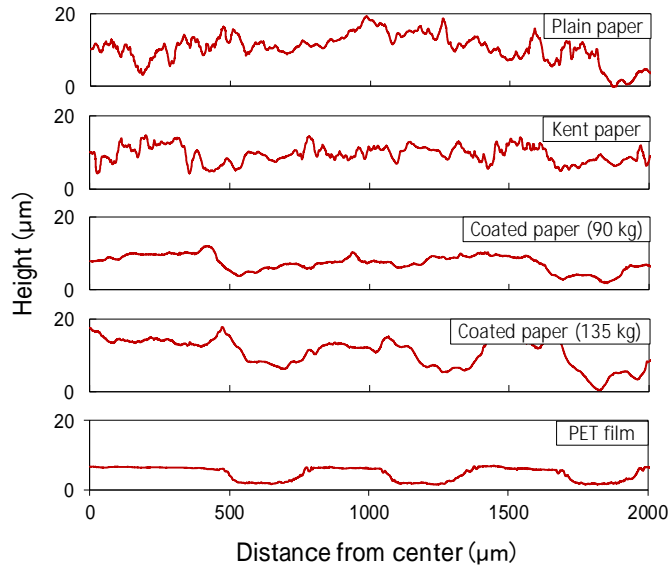


図5 各軟質工具で転写した表面の凹凸形状 ($D/t = 24$, 平均圧力 $p_a = 295$ MPa)

図6に D/t が 12, 24, 36 における平均圧力の溝深さの転写率への影響を示す。転写率は印刷工具 (PET を使用) の凹凸を基準として成形された溝の深さを百分率で示したものである。いずれも圧力を大きくすることで転写率は向上する。また, D/t を小さくすることで中央部での転写率が向上し, 端部から中央部まで均一に凹凸が成形されることがわかる。

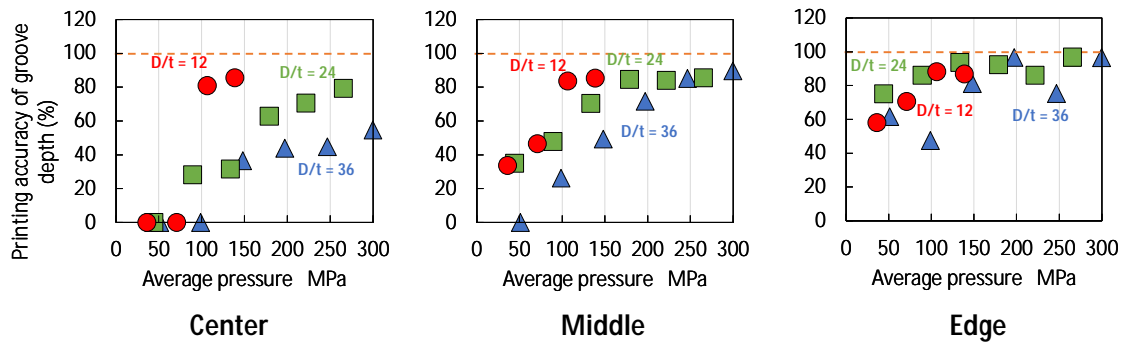


図6 各 D/t における中央部, 中間部, 端部の転写率

凹凸を成形する金属材料として, A1050-O よりも硬質な A1050-H24 とすると, 平均圧力を 300MPa としても中央部まで凹凸は成形されない。これは円板の中央は摩擦により変形しにくいことが要因と考えられる。したがって, このような比較的硬質な金属を被加工材とする際には被加工材と平板金型との界面を潤滑し, 中央部の流動を促すことで転写が可能となり, 図7に示すようにパラフィン系鉱物油を導入すると 220MPa で中央部まで凹凸を転写できるようになる。

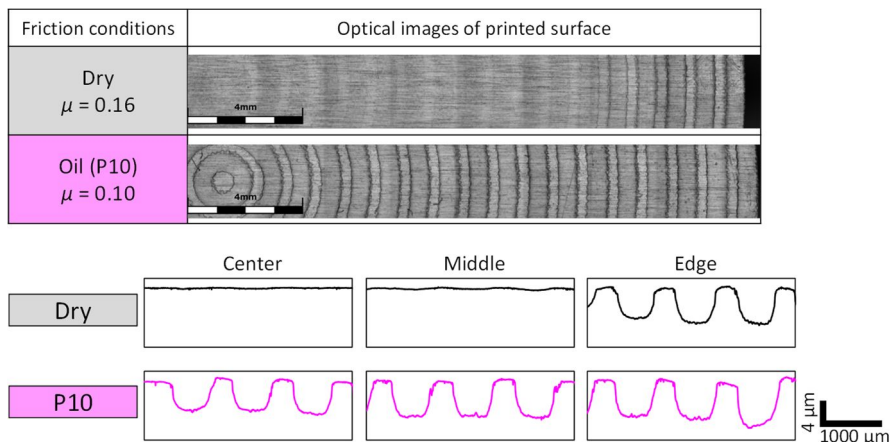


図7 潤滑の有無による表面凹凸の比較 (A1050-H24, $D/t = 36$, 平均圧力 220MPa)

円筒コンテナ内での転写実験により、拘束状態での凹凸転写を検討した。その結果は焼きなまし材であっても、金属材料の流動がほとんどない状況下では凹凸は転写できず、軟質材料を工具として金属に凹凸を転写するためには、金属材料の流動が必要となることが示唆された。

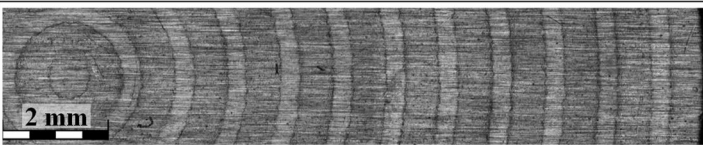
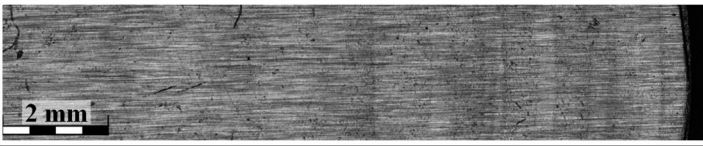
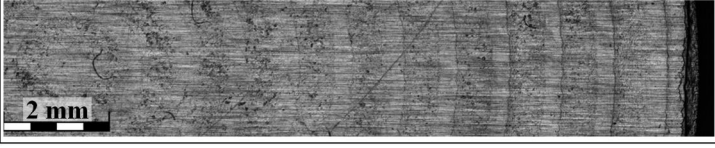
Conditions	Optical images of printed surface
Unconfined 120 MPa $\mu = 0.14$	
Confined 120 MPa	
Confined 220 MPa	

図 8 拘束金型内での転写実験を行った金属の表面外観図

以上の結果から、被加工材の金属材料が軟質工具を閉じ込めながら塑性変形することで軟質工具の凹凸を転写することが可能となることが明らかになった。この結果を基に同様の状況を実現させられれば、異なる被加工材、工具材料においても凹凸を転写することが可能である。

参考文献

- (1) 池浩；塑性と加工， Vol. 36，(1995)，369-376。
- (2) 工藤英明，中根龍男；塑性と加工，Vol. 5，(1964)，393-402。
- (3) 西雅俊，藤本創造，藤田昌大，外本和幸；第 64 回塑性加工連合講演会，(2013)，79-80。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshikawa Yasuharu, Masegi Yusuke	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of a New Printing Method Using Soft Material Tools	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forming the Future	6. 最初と最後の頁 2211 ~ 2219
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-75381-8_186	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yasuharu Yoshikawa, Yusuke Masegi
2. 発表標題 Development of a New Printing Method Using Soft Material Tools
3. 学会等名 The 13th International Conference on the Technology of Plasticity (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西山拓実, 吉川泰晴
2. 発表標題 新規凹凸転写技術における転写精度に及ぼす軟質工具および被加工材の形状の影響
3. 学会等名 日本塑性加工学会 第71回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柵木佑介, 吉川泰晴
2. 発表標題 新規凹凸転写技術における転写精度に及ぼす摩擦条件の影響
3. 学会等名 日本塑性加工学会 第71回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川泰晴, 柵木佑介
2. 発表標題 軟質材料を用いた転写技術の開発
3. 学会等名 第70回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 凹凸転写方法	発明者 吉川泰晴	権利者 名城大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-161790	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関