

積層インプリント法による新たな表面微細加工法と その制御手法の開発

徳丸, 和樹

<https://hdl.handle.net/2324/4784621>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 徳丸 和樹

論 文 名 : 積層インプリント法による新たな表面微細加工法とその制御手法の開発

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年の SDGs に代表される省エネルギー化への取り組み, IoT の普及による機器の小型化などにより, 工業分野ではエネルギー効率の改善が強く求められている. エネルギー効率の改善方法には様々な分野からのアプローチがなされているが, その一つとして, 表面微細構造による機能性強化が挙げられる. 物体の運動, 化学的な反応など, エネルギーを消費する運動において, ほとんどの全ての場合に表面を通じた相互作用が発生する. そのため, エネルギーを効率的に変換・消費するためには, 物体の持つ表面エネルギーの制御が重要となってくる. その制御法の一つとして表面微細構造の制御は重要な要素となってくる.

表面微細構造の加工法の一つにナノインプリントリソグラフィ (NIL) と呼ばれる技術が存在する. NIL とはプレス加工のように被加工材へモールドと呼ばれる型を押し付けることによってパターン形状を転写する技術である. NIL は優れた加工法であるが, 離型プロセスが存在するために作製可能なパターンの形状に制約が存在する. このような NIL の弱点を克服するために, 本研究では新たなパターンニング技術として, 積層体を被加工材とする, 積層インプリント法と面内圧縮インプリント法の開発に取り組んできた.

積層インプリント法では, 被加工材料として積層シートを用いる. 積層シートにインプリント加工を施すことにより, 材料表面だけでなく積層界面も変形させることが可能となり, 積層界面に現れる複雑形状をパターンとして利用することが可能となる. 面内圧縮インプリント法とは積層インプリント法のさらなる発展として, パターンの高アスペクト比化, パターン形状のバリエーション化を目指した加工法である. 積層インプリント法では小さなアスペクト比を持つパターンの成型に留まり, 大アスペクト比かつオーバーハングな形状の実現にはさらなる工夫が必要であった. そこで, インプリントにより得られたパターンをさらに面内方向に加工することで, オーバーハング形状や多層構造などを実現する. また, これらの加工の材料としてセラミックスコンパウンドシートを用いることで, 燃料電池電解質の反応面積の拡大, 生体模倣機能性表面の再現による撥水性の向上などを目指した.

本論文は 7 章より構成されている.

第 1 章では, 表面微細構造の例を挙げ, 本研究で用いる加工法である NIL, マイクロパウダーインプリント法, 積層インプリント法, 面内圧縮インプリント法について説明し, 積層インプリント法における未解決課題を紹介し, 本研究の目的を示した.

第 2 章では, インプリント加工システムについての基本構造とインプリント用モールドの作製方

法について示した。モールドはポリイミドを材料とした段階的なレーザ加工によって作製されており、その加工方法についての説明を示した。

第3章では、本研究で材料とするセラミックスコンパウンドシートについて、作製方法やシートの粘弾性や熱特性について示し、熱分析による焼結条件の決定法についても示した。原料粉末の各種セラミックス粉の粒径制御および、バインダーとの配合比の調整により、インプリントによる成型加工が容易かつ、焼結性も良好なセラミックスコンパウンドシートが得られている。また、材料配合比の調整により、燃料電池材料の2種層同時焼結も成功した。

第4章では、積層セラミックスコンパウンドシートに対して積層インプリント加工を行い、コンパウンドシートの材料配合比やプレス速度が積層界面形状に与える影響を調査した。セラミックスコンパウンドシートは原料粉末とバインダーの混合体であるため、粘弾性を持っており、積層インプリント時にはそれぞれの層の変形挙動の違いにより、積層界面形状が決定される。本章では材料配合比の変化による各層の弾性率の違いと、プレス速度によって積層界面形状が変化する様子が確認でき、粘弾性による積層界面形状への影響をほぼ把握できたことを示している。

第5章では、第4章で得られた結果をもとに、有限要素解析を用いた積層インプリントシミュレーションの開発について示した。積層インプリント法における加工条件はこれまで経験的に決定してきたものであり、条件決定に多くの時間か費やされてきた。そこで、シミュレーションの導入により加工条件を見積もることで、開発期間の短縮を目指した。シミュレーションモデルとして一般化マクスウェルモデルを用い、各境界条件を適切に設定することによって、実験で得られていた積層界面形状の再現に成功した。実験によるデータの習得が1条件に対して3時間ほど必要だったのに対して、シミュレーション上では10分ほどで結果を算出することが可能となり、開発した積層インプリントシミュレーションによって、積層インプリント法による微細パターンの開発期間の短縮が期待できる。

第6章では、積層インプリント法の開発によって得られた知見を基に開発した、面内圧縮インプリント法について述べている。加工装置の開発やアルミナコンパウンドシートを用いたモデル実験、有限要素解析による面内圧縮シミュレーションによって、従来の積層インプリント法に比べアスペクト比を3.3倍にまで向上することが可能となった。今後の研究の発展により、モルフォ蝶の鱗粉構造などの複雑構造の実現も期待できる。

第7章は結言であり、本研究により得られた成果をまとめ、本研究内容を総括している。積層インプリント実験により積層インプリント時の界面挙動を把握し、シミュレーションを用いることにより10分以内という短時間で結果を予想可能となり、開発スピードの向上が期待できる。また、面内圧縮インプリントにより、従来の積層インプリント法からアスペクト比を3.3倍に向上させるなど、多様なパターン形状の作製が可能になり、今後の様々なパターン開発への貢献が期待できる。

本論文は以上のように、積層インプリント法における積層界面変形挙動の把握とその制御手法を開発することによって、新たな表面微細加工法の開発に成功した。今後の表面微細加工法の更なる発展に寄与できると期待できる。