

大面積基板対応高速レーザ微細加工

アンドレ・ストリーク、ウド・ロシュナー、ルネ・リーバース

ハイパワー（高平均パワー）レーザと高速スキャンシステムの組合せは、大型基板を迅速かつ正確に処理する。

高速レーザ微細加工は、現在の微細加工および製造で重要な実現技術になりつつある。最近の高速加工技術は、ハイパワーレーザと高速加工の利点を統合している。主目的は、革新的で、十分に確立されたレーザ微細加工プロセスを実験室から産業へもたらし、生産性、加工速度およびスループットの強化である。他方で、これは可能になっている。すなわち、優れたビーム品質で数百Wから数千Wを出力するレーザ光源の開発、また高い平均パワーの超高速レーザ開発における最近の進歩によるものである。もう1つの中核的機能である超高速スキャンシステムは、たとえ高出力レーザでも、高速加工の前例のないスピードでレーザビームを偏向させることで基板への熱損傷を回避できる。

1つの有望なアプローチでは、大開口ポリゴンミラーベースのスキャンシステムと長い焦点長の対物レンズと組み合わせることで、数十メートルから数km/秒の範囲で素早いビームスポットの動きを可能にする。優れたビーム品質により、数十 μm の小スポットサイズが、最大 $700 \times 700 \text{mm}^2$ の大きなスキャン領域をカバーすることができる。精密微細加工には、レーザの動作を高速レーザビームスイッチングによる制御で、レーザビームと超高速ポリゴンスキャンシステムとを正確に同期させる。

大面積マイクロスケールの特徴

高速微細加工は、数百ナノメートル

から数十マイクロメートルの範囲の構造寸法でマイクロスケール表面特性作製に最適である。自然からヒントを得て、この(サブ)マイクロスケール特性を使って、機械的、化学的、物理的表面機能制御ができる。例えば、自己洗浄、湿潤性、静摩擦や接着、光学特性や微小流体特性などである。

一例を示すと、大面積リップテクスチャ AISI 304表面がある。これは、ポリゴンスキャンシステム(図1a)を使い高い平均パワーフェムト秒レーザ(1030nm、400fs、450W)で加工したものである。500m/sスピードでは、この $280 \times 190 \text{mm}^2$ 回折格子の加工速度は、 $2000 \text{cm}^2/\text{分}$ だった。サメの皮で知られているリブレット効果からヒントを得て、図1bは、アルミニウム翼へのレーザ加工抵抗低減表面トポロジーを示している。これは、2.7kW連続波(CW)シングルモードファイバレーザとスキャン速度150m/sで加工した。加工速度は、 $0.82 \text{m}^2/\text{h}$ だった。

加工ピース例は、ポリゴンミラーシステムで生成された。これは、独MOEWEオプティカルソリューションズ社(MOEWE Optical Solutions)から購入できる。このシステムは、31mmの大きな自由開口部を持ち、斬新な歪フリーのダブルポリゴンミラーの利用で達成される。この設計により、大開口にもかかわらず、2Dスキャン用のコンパクト設計ができる。ポリゴンシステムは、完全デジタル化されている。周波数200MHz組込FPGAを利用して

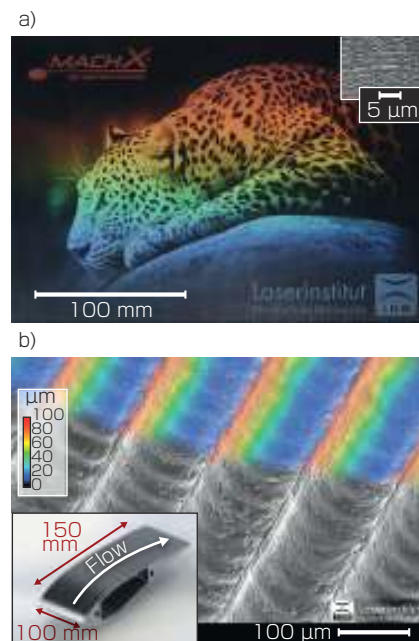


図1 加工例は、高速レーザ微細加工技術の可能性を実証している。生物からヒントを得た表面機能性向け大面積リップテクスチャ AISI 304 ステンレス鋼表面(a); 抵抗低減のための微細リブレット形成で覆われたアルミニウム翼断面形状(b)。

おり、スキャナは幾何学的最適補正され、軸の動きなど外部の影響にリアルタイムで反応することが可能である。

従来のfシータオプティクスをそのシステムとともに使用することができる。焦点長420mmのfシータオプティクスシステムに実装されており、焦点は約 $40 \mu\text{m}$ である。この場合の加工領域は、約 $300 \times 300 \text{mm}^2$ である。外部軸を使うことで、400mm線幅の加工ができる。最大スキャン速度とライン周波数は、それぞれ1000m/sと1.3kHzである。この目的で、ポリゴンミラーは、11,000rpmで回転する。組込デジタルエレクトロニクスによるスキャン範囲(ラインチルト、fシータオプティクスのピンクッション歪)の完全補正



図2 大型基板を加工するmicroSHAPEレーザシステムの加工領域。

は、最高200m/sまでで可能である。

サイクルタイム5nsの主に並行動作するFPGAロジックがスキャナに使用されており、2つの600MHzプロセッサが通信機能を果たす。高速微細加工需要を満たすために、ポリゴン(ポリゴンライン=速軸)の各スキャンライン中に大量のデータを処理する必要がある。最大速度で、80MB/s以上のデータが処理されなければならない。特定スキャン位置で瞬時データ出力の付加的な要求に起因する、動的移動は可能ではない。従って、ポリゴンスキャナそのものは、1GBのDDR RAMを持っており、最大データレートは800MB/秒である。

スキャナは、3つの異なるモードで動作可能である。ビットマップモードでは、最大32bitグレイエンコードビットマップが、個々のスキャン位置で適用されるべきレーザーパワーを示す。デプスマップモードでは、蓄積されたビットマップに、各スキャン位置の深さ情報が含まれている。スキャン領域全体のマルチサイクル照射により、2.5Dエンレービング(多様な深さで

多数の平坦な特徴の実現)実施が可能である。ベクトルモードでは、STL(表面テセレーション言語:3D形状データを保存するファイルフォーマットの1つ)ファイルをメモリにロードし、ポリゴンスキャナが、選択的レーザー焼結への必要性に応じて3Dデータをリアルタイムスライシングする。すべての3動作モードに、ハイパワーレーザーの高速スイッチングが適用されなければならない。現在、スキャナは、3kWまでのCWレーザー光源、ピークパワー10kWまでのナノ秒パルスシステム、および超短パルスシステムでテストされている。今後のテストは、10kWシングルモードCWファイバレーザシステムで実施される。

謝辞

紹介した成果は、プロジェクト「"Optimierung der strömungsmechanischen Auslegung von Energiemaschinen durch Einsatz von Hochrate-Laserstrukturierungstechnologien - OstrALas"」(03PSIPT1A) 及び「Erweiterung der Infrastruktur für den Ausbau des spezifischen Forschungs- und Innovationsprofils "Hochrate-Laserbearbeitung - Hochrate2.0" (03IPT5061)の過程で実施された。ドイツ教育研究省から助成を受けている。

著者紹介

アンドレ・ストリーク教授は、MOEWE光学ソリューション所属、ウド・ロシュナー教授は、Laserinstitut Hochschule Mittweida所属。共にドイツのミットヴァイダがベース。またルネ・リーバーは、3Dマイクロマック社所属。e-mail: liebers@3d-micromac.com URL: https://3d-micromac.com

モジュラーレーザープラットフォーム

ポリゴンスキャナシステムとレーザー光源の利点を産業アプリケーションで利用するには、装置を信頼できる微細加工システムに組み込む必要がある。この目的で、独3Dマイクロマック社(3D-Micromac)は、microSHAPEというモジュラーレーザープラットフォームで、それらすべての要件をまとめる。レーザシステムは、大面積でフラットなガラスや金属基板の高精度、高ダイナミック加工向けに設計されている。拡張性がある設計が、最大2×3mまでのシートに対処が可能である。ソフトウェアが、すべてのコンポーネントを制御し、レーザー光源、ポリゴンスキャナ、ビームパス全体を調整する。

microSHAPEは、動力学、計量学、操作、レーザとビームデリバリーコンポーネントで特殊構成可能なガントリ設計に基づいている。その構成により、軸精度は±2μm、加工精度は±10μm、加工速度は最大1.5m/secが可能である。microSHAPEシステムは、産業製造で広く使用されている。ステンレス鋼基板の表面改質向けポリゴンスキャナを含む構成だけでなく(図2)、そのシステムは、あらゆる種類のアブレーションおよび非アブレーション切断あるいは構造化プロセスに用いられる。例えば、ガラスフィラメント形成(超高速レーザーでガラスを切断)である。