

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7217618号
(P7217618)

(45)発行日 令和5年2月3日(2023.2.3)

(24)登録日 令和5年1月26日(2023.1.26)

(51)国際特許分類 F I
 B 2 3 K 26/359 (2014.01) B 2 3 K 26/359
 B 2 3 K 26/082 (2014.01) B 2 3 K 26/082

請求項の数 7 (全16頁)

| | | | |
|----------|-----------------------------|----------|---|
| (21)出願番号 | 特願2018-215401(P2018-215401) | (73)特許権者 | 000110859 キヤノンマシナリー株式会社 滋賀県草津市南山田町字縄手崎 8 5 番地 |
| (22)出願日 | 平成30年11月16日(2018.11.16) | (74)代理人 | 100107423 弁理士 城村 邦彦 |
| (65)公開番号 | 特開2020-82093(P2020-82093A) | (74)代理人 | 100120949 弁理士 熊野 剛 |
| (43)公開日 | 令和2年6月4日(2020.6.4) | (74)代理人 | 100148987 弁理士 前田 礼子 |
| 審査請求日 | 令和3年10月12日(2021.10.12) | (72)発明者 | 二宮 孝文 滋賀県草津市南山田町字縄手崎 8 5 番地 キヤノンマシナリー株式会社内 |
| | | 審査官 | 黒石 孝志 |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 周期構造作成装置及び周期構造作成方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工対象物に一軸のレーザービームをオーバーラップさせながら照射して、そのレーザー波長程度に微細な凹凸溝を方向性を持たせて周期的に形成する周期構造作成装置であって、
 レーザービーム径の第1 拡縮手段と、加工対象物を駆動してレーザービームを相対走査する走査手段と偏向器を駆動してレーザービームを絶対走査する走査手段とのいずれかの走査手段と、レーザービームを集光する集光手段とを備え、前記レーザービーム径の第1 拡縮手段が前記いずれかの走査に対して略直交する方向にのみ作用し、かつ、前記レーザービーム径の第1 拡縮手段に加え、レーザービーム径の第2 拡縮手段を備え、前記第2 拡縮手段は前記第1 拡縮手段と略直交する方向にのみ作用し、前記第1 拡縮手段によるビーム径の変更を加味して、焦点位置における集光スポットの累積エネルギー量を略一定に保つように、前記第2 拡縮手段と前記走査手段を作用させて、レーザの利用効率を最大に保つことを特徴とする周期構造作成装置。

【請求項 2】

前記レーザービーム径の第1 拡縮手段とレーザービーム径の第2 拡縮手段とは、可変倍率式のシリンドリカルビームエキスパンダ、または、可変倍率式のシリンドリカルビームレデューサであることを特徴とする請求項 1 に記載の周期構造作成装置。

【請求項 3】

前記レーザービームの出力またはレーザ照射のオンオフを所定の周期で変更して、周期構造の深さまたは周期構造の間欠比を変化させることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に

記載の周期構造作成装置。

【請求項 4】

前記レーザービームの強度分布を変更する機能を備えて、周期構造の作成幅の断面形状を変化させることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の周期構造作成装置。

【請求項 5】

前記レーザービームの偏光方向を変更する機能を備えて、周期構造の微細な凹凸溝の方向を変化させることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の周期構造作成装置。

【請求項 6】

前記レーザービーム径の拡縮手段と前記偏光方向を変更する機能に電動機構を持たせて、前記走査手段とレーザー出力またはレーザー照射のオンオフとに同期して、レーザービーム径または偏光方向を変更して、周期構造の作成幅または凹凸溝の方向を、加工中に変更することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の周期構造作成装置。

10

【請求項 7】

加工対象物に一軸のレーザービームをオーバーラップさせながら照射して、そのレーザー波長程度に微細な凹凸溝を方向性を持たせて周期的に形成する周期構造作成方法であって、レーザービーム径の拡縮、及び加工対象物象とレーザービームとの相対走査又は偏向器とレーザービームとの絶対走査を可能とする走査手段を用いて、前記レーザービーム径の拡縮が前記レーザービームのいずれかの走査に対して略直交する方向にのみ作用させ、前記レーザービーム径の第 1 拡縮手段と、前記第 1 拡縮手段と略直交する方向にのみ作用する、レーザービーム径の第 2 拡縮手段とを用い、前記第 1 拡縮手段によるビーム径の変更を加味して、焦点位置における集光スポットの累積エネルギー量を略一定に保つように、前記第 2 拡縮手段と前記走査手段を作用させて、レーザーの利用効率を最大に保つことを特徴とする周期構造作成方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、周期構造作成装置及び周期構造作成方法に関し、特に、加工対象物に単一光軸のレーザービームをオーバーラップさせながら照射して、そのレーザー波長程度に微細な凹凸溝を方向性をもたせて周期的に形成する周期構造作成装置及び周期構造作成方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

加工対象物に単一光軸のレーザービームをオーバーラップさせながら照射して、入射光の偏光成分と加工対象物の表面に沿った散乱光の偏光成分の干渉部分のアブレーションによって、自己組織的に入射光の偏光方向に直交した、入射光波長程度の間隔を持つ周期構造を作成する方法が知られており、その作成装置も市販されている（特許文献 1、特許文献 2、非特許文献 1）。

【0003】

周期構造を作成することで、機械システムの摺動特性や濡れ性、生体親和性の向上効果があることが報告されている（特許文献 1、非特許文献 2）。例えば、機械システムであれば、そこには必ず接触して相対運動する摺動面が存在するが、摺動面の相対的な動きに対して有効に配置した周期構造から成るテクスチャを作成することで、油膜などによる流体力学的な作用を拡大して、優れた低摩擦特性を得ることができる（特許文献 3、特許文献 4）。ここでの最適なテクスチャとは、周期構造の作成幅や、周期構造の形成部と未形成部の比率（間欠比）、作成幅の断面形状、凹凸溝の方向などの構成要素を、トライボロジーやバイオメディカルなどの観点から理論的ないしは実験的に最適化したものである。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

50

【文献】特許第4054330号公報

特許第5819149号公報

特許第5619937号公報

特許第5465109号公報

特許第6382154号公報

【非特許文献】

【0005】

【文献】フェムト秒レーザーで形成する表面周期構造、Laser Focus World、2006年10月

フェムト秒レーザーによる表面微細加工、トライボロジスト第55巻第2号、2010年2月15日

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

前述のテクスチャ構成要素のうち、周期構造の形成部と未形成部の比率（間欠比）はレーザー光源ないしはその後段に設けたパルスピッカーに対するレーザー照射のオンオフ指令で定まるため制御性は比較的良好である。パルスピッカーは、音響光学素子（AOM）あるいは電気光学素子（EOM）で構成されており、数ナノ秒の応答速度でレーザービームの通過と遮断を制御できる。作成幅の断面形状はレーザー集光スポットの強度分布をビームシェーパやホモジナイザで変換することで、また、凹凸溝の方向はレーザービームの偏光で一意に定まるため、これらの加工条件の管理も比較的容易である。一方、周期構造の作成幅については、可変スリットを用いて作成幅方向のレーザービームを直接遮断する方法（特許文献1、特許文献5）と、小さく絞った集光スポットを作成幅方向にガルバノスキャナやポリゴンミラーなどの偏向器で二次元的に光軸走査する方法（特許文献2）があるが、それぞれに以下の課題がある。

20

【0007】

可変スリットで作成幅方向のレーザービームを直接遮断する場合は、スリットを全開にしてレーザービームを遮光しない状態が、最もレーザーエネルギーの利用効率が高くなる。この状態から、周期構造の作成幅を小さく変更していくほど、レーザービームを遮光する面積が増加するため、レーザーエネルギーの利用効率が低くなる。つまり、可変スリットを用いて作成幅方向のレーザービームを直接遮断する方法は、レーザーエネルギーの利用効率が低いという本質的な問題がある。このことにより、レーザーの高出力化に応じて、スリットで反射したレーザービームを安全に終端させるディフューザ機構や、スリットが吸収したエネルギーの放熱機構などが煩雑となり、装置コストの上昇を招くという問題があった。さらに、スリットで回折したレーザービームによって、目的とは異なる意図しない加工痕が発生してしまうという加工品質面の問題もあった。

30

【0008】

ガルバノスキャナやポリゴンミラーなどの偏向器で作成幅方向に光軸走査する場合は、小さく絞った集光スポットを高速に二次元的に走査することで、作成幅を広範囲に変更できるという利点がある。しかし、可変スリットによる方法で得られる最大径の集光スポットに比べれば、集光スポットの大きさが原理的に小さくなるため、比較的加工タクトが遅いという問題があった。

40

【0009】

本発明は、上記課題に鑑みて、周期構造の作成幅を自由に変更することができ、周期構造から成るテクスチャを低コストで作成できる生産性に優れた周期構造作成装置および周期構造作成方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の周期構造作成装置は、加工対象物に一軸のレーザービームをオーバーラップさせながら照射して、そのレーザー波長程度に微細な凹凸溝を方向性を持たせて周期的に形成す

50

る周期構造作成装置であって、レーザービーム径の第1拡縮手段と、加工対象物を駆動してレーザービームを相対走査する走査手段と偏向器を駆動してレーザービームを絶対走査する走査手段とのいずれかの走査手段と、レーザービームを集光する集光手段とを備え、前記レーザービーム径の第1拡縮手段が前記いずれかの走査に対して略直交する方向にのみ作用するものである。ここで、略直交とは、交差する角度が90°から誤差を含む程度でずれていても良いという意味である(以下、同様である。)

【0011】

本発明の周期構造作成装置によれば、レーザーエネルギーの利用効率を高めて加工のタクトを最速に保つことができる。また、周期構造の作成幅や深さ、間欠比、断面形状、凹凸溝の方向を自由に変更することができる。なお、レーザービームを相対走査する走査手段には、例えば、リニアモータや回転モータとボールネジ、回転モータと歯車を用いる直動軸や、DDモータや回転モータによる回転軸などがある。また、レーザービームを絶対走査する走査手段には、例えば、ガルバノスキャナやポリゴンミラーやレゾナントスキャナ、音響光学素子などを用いた偏向軸がある。

【0012】

この場合、前記レーザービーム径の拡縮手段によるビーム径の変更を加味して、焦点位置における集光スポットの単位面積あたりのエネルギー量(フルエンス)を略一定に保つように、レーザー出力を変更(制御)するように構成するのが好ましい。このように構成することによって、加工のタクトを一定に保つことができる。例えば、作成幅を定格の半分にしたい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が2倍になるように拡大したうえで、レーザー出力を半減することでフルエンスを略一定に保つことができる。逆に、作成幅を定格の2倍にしたい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が1/2倍になるように縮小したうえで、レーザー出力を倍増することでフルエンスを略一定に保つことができる。前記レーザービーム径の拡縮手段は走査の方向には作用しないので、このように、フルエンスを略一定に保つことで、前記の走査の速度値を変更することなく、周期構造の作成幅だけを変更することができる。さらに、レーザービームの出力を所定の周期で変更して、フルエンスに変化を与えることで、周期構造の深さに傾斜を持たせることができる。ここで、略一定は、完全に一定とすることを意味するだけでなく、実質的に一定とする、すなわち、例えば数%程度の差異を含むことも意味する(以下、同様である。)

【0013】

ここで、ビーム径と集光スポット径の関係(数1)を示す。波長 λ でビーム品質 M^2 のレーザービーム径が Dg のとき、焦点距離 EFL の集光レンズを通過したあとの焦点位置のスポット径は d_0 で表される。 APO は Dg と、集光レンズやアパーチャなどの開口径 Da の比率で定まる係数である。周期構造の作成幅は走査と直交する方向の集光スポット径に依存するため、走査に対して略直交する方向にのみレーザービーム径の拡縮手段を作用させることで、所望の作成幅で周期構造を形成することができる。

【数1】

$$d_0 = \frac{\lambda \times EFL \times APO \times M^2}{Dg}$$

【0014】

さらに、前記レーザービーム径の第1拡縮手段と略直交する方向にのみ作用する、レーザービーム径の第2拡縮手段を備えて、前記レーザービーム径の拡縮手段によるビーム径の変更を加味して、焦点位置における集光スポットの単位面積あたりのエネルギー量(フルエンス)を略一定に保つように、レーザービーム径の第2拡縮手段を作用させることが好ましい。このように構成することによって、レーザーの利用効率を最大に保つことができる。例えば、作成幅を定格の半分に変更したい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビ

ーム径が2倍になるように拡大したうえで、レーザービーム径の第2拡縮手段で前記の走査に対して略平行方向にのみビーム径が1/2倍になるように縮小してフルエンスを略一定に保った状態で前記の走査の速度値を倍増させる。逆に、作成幅を定格の2倍に変更したい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が1/2倍になるように縮小したうえで、レーザービーム径の第2拡縮手段で前記の走査に対して略平行方向にのみビーム径が2倍になるように拡大してフルエンスを略一定に保った状態で前記の走査の速度値を半減させる。すなわち、レーザー出力を変更することなく加工対象物の同一部分におけるレーザー照射の累積エネルギー量を略一定に制御することで、周期構造の作成幅を変更してもレーザーの利用効率を最大に保つことができる。ここで、略平行とは、平行状態から当業者が設定上又は製造上の誤差と認識し得るような範囲をいい、平行を含む(以下、同様である。)

10

【0015】

レーザービーム径の第1・第2拡縮手段は、可変倍率式シリンドリカルビームエキスパンダ、または、可変倍率式シリンドリカルビームレデューサであることが好ましい。このように構成することによって、レーザービーム径を可変倍率で拡大することで周期構造の作成幅を無段階に小さく変更することができる。また、レーザービーム径を可変倍率で縮小することで周期構造の作成幅を無段階に大きく変更することができる。可変スリット自体を用いないため、レーザーエネルギーの低利用効率の問題が解消され、ディフューザ機構や、スリットの放熱機構が不要となる。さらに、回折したレーザービームによって、目的とは異なる意図しない加工痕が発生してしまうという品質面の問題も解消される。

20

【0016】

この際、前記レーザービームの出力を所定の周期で変更することで、周期構造の深さに周期的な傾斜をもたせることができる。また、レーザー照射のオンオフを所定の周期で変更することで、周期構造の形成部と未形成部の比率(間欠比)をもたせることができる。また、レーザービームの強度分布をビームシェーパやホモジナイザで変更することで、周期構造の作成幅の断面形状を変化させることができる。また、レーザービームの偏光方向を変更することで、周期構造の微細凹凸溝を、摺動や重力など方向性のある力の作用に適した向きに形成することができる。

【0017】

前記レーザービーム径の拡縮手段と前記偏光方向を変更する機能に電動機構を持たせて、前記走査手段とレーザー出力またはレーザー照射のオンオフとに同期して、レーザービーム径または偏光方向を変更して、周期構造の作成幅または凹凸溝の方向を、加工中に変更することを特徴とする周期構造の作成方法は、用途に最適な周期構造からなるテクスチャを低コストで作成できる生産性に優れた方法として、さらに好ましい。

30

【0018】

本発明の周期構造作成方法は、加工対象物に一軸のレーザービームをオーバーラップさせながら照射して、そのレーザー波長程度に微細な凹凸溝を方向性を持たせて周期的に形成する周期構造作成方法であって、レーザービーム径の拡縮、及び加工対象物象とレーザービームとの相対走査又は偏向器とレーザービームとの絶対走査を可能とし、前記レーザービーム径の拡縮が前記レーザービームのいずれかの走査に対して略直交する方向にのみ作用させるものである。

40

【0019】

本発明の周期構造作成方法によれば、レーザーエネルギーの利用効率を高めて加工のタクトを最速に保つことができる。また、周期構造の作成幅や深さ、間欠比、断面形状、凹凸溝の方向を自由に変更することができる。

【発明の効果】**【0020】**

本発明によれば、レーザーエネルギーの利用効率を高めて加工のタクトを最速に保つことができるため、低コストで生産性の高い加工を実現できる。また、周期構造の作成幅や深さ、間欠比、断面形状、凹凸溝の方向を自由に変更することができるため、用途に最適な周

50

期構造から成るテクスチャの加工が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 1 】

【図 1】本発明に係る周期構造作成装置の簡略斜視図である。

【図 2】図 1 に示す周期構造作成装置で作成した周期構造を示す簡略図である。

【図 3】摺動面に作成した周期構造の拡大図である。

【図 4】集光前のレーザのビーム形状と集光位置のレーザのスポット形状と周期構造の作成幅の関係を示す簡略図である。

【図 5】他の周期構造を示す簡略図である。

【図 6】前記図 5 の周期構造を作成する周期構造作成装置の簡略斜視図である。

10

【図 7】別の周期構造を示す簡略図である。

【図 8】前記図 7 に周期構造を作成する周期構造作成装置の簡略斜視図である。

【図 9】ガルバノスキャナと加工対象物の回転機構との座標データテーブル図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 2 】

図 1 は本発明にかかる周期構造作成装置の第 1 の実施形態の簡略全体斜視図を示す。周期構造作成装置にて、図 2 に示すような機械システムの摺動面に鋸刃形状のスパイラルパターン周期構造を作成する。この場合、摺動面 2 1 a にグレーティング状凹凸の周期構造 2 3 (摺動面周縁に連通して摺動面周縁から潤滑剤の摺動面内方への導入を可能にするスパイラル状の方向性を持つ)と、周期構造 2 3 が形成されない周期構造未形成部 (周期構造との境界部において摺動方向に圧力勾配を生じさせるレーザ照射しない領域) 2 8 とが設けられる。すなわち、摺動面 2 1 a に、複数の周期構造 2 3 を有するリング状の周期構造集合部 2 7 と、内径側のリング部 2 9 と周方向に沿って所定ピッチで配設される複数の周期構造未形成部 2 8 とからなる周期構造未形成集合部 2 4 とが形成される。この場合、周期構造未形成部 2 8 は鋸刃形状としている。すなわち、周期構造未形成部 2 8 は、直線状の底辺 2 8 a と円弧状の斜辺 2 8 b とを備えた複数個の扇形状体からなる。周期構造 2 3 と周期構造未形成部 2 8 とが、摺動方向に沿って交互に形成した鋸刃形状の間欠的な周期構造から成るテクスチャ構造である。

20

【 0 0 2 3 】

周期構造 2 3 は図 3 に示すように、微小の凹部 2 5 と微小の凸部 2 6 とが交互に所定ピッチで配設されてなるものである。周期構造 2 3 の凹凸ピッチを $10 \mu\text{m}$ 以下とし、凹部 2 5 の深さを $1 \mu\text{m}$ 以下とするのが好ましい。この場合、周期構造 2 3 の凹部 2 5 は、加工対象物の外周縁 (摺動面周縁) 2 1 b に連通 (開口) している。また、周期構造未形成部 2 8 の中心角 を例えば、 19deg とし、隣合う周期構造未形成部 2 8 間の間隔の中心角 を例えば、 26deg としている。周期構造 2 3 の凹部 2 5 はスパイラル状に湾曲し、その湾曲方向が未形成部 2 8 の斜辺 2 8 b の湾曲方向に合わされている。

30

【 0 0 2 4 】

周期構造作成装置は、レーザ光源 1 と、レーザ光源 1 のレーザ照射口の近傍に配設される偏光回転機構 2 と、スキャナミラー 9 を備えたガルバノスキャナ 1 0 と、レーザビームを集光する集光手段 1 1 と、加工対象物 1 2 の回転駆動機構としての走査手段 1 3 と、同期制御回路 2 0 を備える。また、偏向回転機構 2 とガルバノスキャナ 1 0 との間に第 1 ・第 2 ミラー 3 , 8 が配設される。第 1 ・第 2 ミラー 3 , 8 間にレーザビーム径を拡縮する拡縮手段 4 が介在されている。加工対象物 1 2 としては、炭化ケイ素からなる円盤体 1 2 A であって、その上面を加工面としている。

40

【 0 0 2 5 】

レーザ光源 1 に、中心波長 800nm 、パルス幅 120fs 、繰返し周波数 1kHz 、パルスエネルギー $0.25 \sim 400 \mu\text{J/pulse}$ のチタンサファイア結晶を用いたフェムト秒レーザを使用したときの、炭化ケイ素に形成した周期構造のピッチは 800nm 程度であり、周期構造の深さは 250nm 程度である。また、図 3 における周期構造 2 3 は矢印で示す直線偏光によるものである。周期構造 2 3 は常に直線偏光に直交して形成される。

50

【 0 0 2 6 】

レーザ光源 1 は光増幅器と光共振器で構成されたものである。発振動作は連続波発振であってもパルス波発振であってもよいが、好ましくは、単位時間あたりのレーザ強度が大きいパルス波発振のレーザ光源を用いれば周期構造を作成し易い。この実施形態では、レーザ光源 1 にパルス波発振動作するチタンサファイア結晶を用いたフェムト秒レーザ光源を使用した。レーザ光源 1 から出射するレーザビームの偏光はレーザ光源 1 の設置面に平行な直線偏光である。図内の矢印 E はレーザの電場の振動方向を示す。2 はレーザ光源から放出されたレーザビームの直線偏光を任意の方向に回転させる機能をもつ偏光回転機構である。周期構造をスパイラルパターンに作成するために、偏光回転機構 2 を用いて、レーザ光源 1 の設置面に対して直線偏光が 4 5 度の角度になるように調整した。

10

【 0 0 2 7 】

レーザビーム径を拡縮する拡縮手段 4 は 3 枚のシリンドリカルレンズで構成した電動機構を有する可変倍率式のビームレデューサである。この場合、シリンドリカルレンズ 4 a、4 b の主点間距離 d a を電動の直動機構 6 a で変化させることができる。また、シリンドリカルレンズ 4 b、4 c の主点間距離 d b を電動の直動機構 6 b で変化させることができる。シリンドリカルレンズ 4 a の焦点距離を f 1 とし、シリンドリカルレンズ 4 b の焦点距離を f 2、シリンドリカルレンズ 4 c の焦点距離を f 3 としたとき、所望するビームレデューサの倍率 M によって、d a と d b の値を計算で求めることができる（数 2、数 3）。

【数 2】

20

$$da = f1 + f2 + \frac{f1 \times f2 \times M}{f3}$$

【数 3】

$$db = f2 + f3 + \frac{f2 \times f3}{M \times f1}$$

30

【 0 0 2 8 】

ガルバノスキャナ 1 0 はモータ回転軸 1 0 a の先端に取り付けた軽量なスキャナミラー 9 を用いて、レーザビームを高速かつ高精度に走査する偏向装置である。ガルバノスキャナ 1 0 にはアナログタイプとデジタルタイプのもがあるが、本発明においては、いずれのタイプも用いることができる。さらに、ここではガルバノスキャナを用いたが、ポリゴンミラーやレゾナントスキャナ、音響光学素子などの他の偏向装置器に代えてもよい。ガルバノスキャナ 1 0 を用いて、あらかじめ作成した鋸刃形状の径方向の中心線ベクトルの座標データと基づいてレーザビームの径方向の走査位置を同期制御回路 2 0 で制御した。同時に、加工対象物の回転駆動機構 1 3 の回転速度を定速に保ち、同一部分におけるレーザ照射の累積エネルギー量が略一定になるように、レーザビームの周方向の走査位置を同期制御回路 2 0 で制御した。また、回転駆動機構 1 3 が一定の速度に達するまでに要する加減速時間を計算して、加工対象物の所定位置にだけレーザビームを照射できるように、レーザ光源 1 に内蔵するポッケルスセルの切り出し信号を同期制御回路 2 0 で制御した。ポッケルスセルはリン酸二重水素化カリウム KDP などの電気光学結晶で構成した変調素子である。ここで、略一定とは、完全に一定とすることを意味するだけでなく、実質的に一定とする、すなわち、例えば数 % 程度の差異を含むことも意味する（以下、同様である）。

40

【 0 0 2 9 】

第 1 ミラー 3 と第 2 ミラー 8 は、レーザビームの光路を折り返して装置構成をコンパクト

50

トにするために使用した。レーザビームを集光する集光手段 11 には、テレセントリック F レンズを配置した。F レンズはスキャナの回転角とビームの偏向の関係が線形になるように設計した多群の組合せレンズである。本実施形態では焦点距離 330 mm のテレセントリック F レンズを用いた。ここで使用した集光レンズは球面形状のものであるが、集光レンズにシリンドリカルレンズを用いて異なる焦点距離で集光すれば、集光スポットを楕円状に設定することができる。

【0030】

加工対象物 12 の回転によるレーザビームの相対走査の方向と、この楕円状の集光スポットの長径を一致させれば、作成幅の小さな周期構造を比較的高速度で加工できる。逆に、加工対象物 12 の回転によるレーザビームの相対走査の方向と、この楕円状の集光スポットの短径を一致させれば、作成幅の大きな周期構造 23 を比較的低速度で加工できる。なお、レーザビームを集光する手段には球面ミラーなどを用いてもよい。加工対象物 12 は炭化ケイ素をドーナツ状に焼結した試料を使用した。図には省略しているが、回転駆動機構 13 は加工対象物 12 を回転中心で保持するチャック機能を備える。

【0031】

なお、レーザビームを相対走査する走査手段には、例えば、リニアモータや回転モータとボールネジ、回転モータと歯車を用いる直動軸や、DDモータや回転モータによる回転軸などがある。また、レーザビームを絶対走査する走査手段には、例えば、ガルバノスキャナやポリゴンミラーやレゾナントスキャナ、音響光学素子などを用いた偏向軸がある。

【0032】

本実施形態では、鋸刃形状のスパイラルパターンの径方向の周期構造 23 の最大幅を 300 μm とし最小幅を 75 μm とした。焦点距離 330 mm のテレセントリック F レンズで、炭化ケイ素に最大幅 300 μm の周期構造 23 を作成するビームレデューサの倍率は 1/4 倍程度であった。また、最小幅の 75 μm を作成するビームレデューサの倍率は等倍程度であった。よって、ビームレデューサの変倍率を等倍から 1/4 倍の間で無段階に変更できるズーム構成とし、加工対象物 12 が 1 回転する間に、等倍から 1/4 倍の倍率で鋸刃形状の径方向幅に合わせた 8 回のズーム動作を行うように、同期制御回路 20 で制御した。

【0033】

さらに、周期構造 23 の深さを略一定に保つために、焦点位置における集光スポットの単位面積あたりのエネルギー量（フルエンス）が略一定になるように、図 4 (a) (b) (c) のように、ビームレデューサの倍率が 1/4 倍のときはレーザエネルギーを 40 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ に変更し、ビームレデューサの倍率が 1/2 倍のときはレーザエネルギーを 20 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ に変更し、ビームレデューサの倍率が等倍のときはレーザエネルギーを 10 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ に変更する。それらの間にあるときはビームレデューサの倍率に比例したレーザエネルギーになるように、作成幅の設計値を基に 0.1 ms 毎のビームレデューサの倍率とレーザ出力のデータテーブルを作成しておき、これを同期制御回路 20 に記憶させた。なお、レーザエネルギーの変更指令に対するレーザ光源 1 の応答時間は 0.2 ms なので、同期制御回路 20 の制御サイクルは 0.1 ms で構成した。

【0034】

ビーム径と集光スポット径の関係（数 4）を示す。波長 λ でビーム品質 M^2 のレーザビーム径が D_g のとき、焦点距離 EFL の集光レンズを通過したあとの焦点位置のスポット径は d_0 で表される。APO は D_g と、集光レンズやアパーチャなどの開口径 D_a の比率で定まる係数である。周期構造 23 の作成幅は走査と直交する方向の集光スポット径に依存するため、走査に対して略直交する方向にのみレーザビーム径の拡縮手段を作用させることで、所望の作成幅で周期構造 23 を形成することができる。ここで、略直交とは、交差する角度が 90° から誤差を含む程度でずれていても良いという意味である（以下、同様である。）。

【数 4】

10

20

30

40

50

$$d_0 = \frac{\lambda \times EFL \times APO \times M^2}{Dg}$$

【 0 0 3 5 】

本発明によれば、レーザエネルギーの利用効率を高めて加工のタクトを最速に保つことができるため、低コストで生産性の高い加工を実現できる。また、周期構造 2 3 の作成幅や深さ、間欠比、断面形状、凹凸溝の方向を自由に変更することができるため、用途に最適な周期構造 2 3 から成るテクスチャの加工が可能となる。

10

【 0 0 3 6 】

図 6 に作成装置の第 2 の実施形態の簡略全体斜視図を示す。この場合、図 5 に示すような、機械システムの摺動面に正弦波ビート状の対向スパイラルパターン周期構造を作成することができる。この場合も加工対象物 1 2 (1 2 B) は円柱体である。

【 0 0 3 7 】

正弦波ビート状の対向スパイラルパターン周期構造の簡略図を図 5 に示す。この摺動面 2 1 a のテクスチャは、正弦波のビート波形に模した作成領域にスパイラル状の方向性を持つ第 1 の周期構造 3 1 と、これに半波長の位相差を与えて第 1 の周期構造 3 1 と直交してスパイラル状の方向性を持つ第 2 の周期構造 3 2 が、レーザ照射しない領域 3 3 を介して交互に連なる、間欠的な周期構造から成るテクスチャ構造である。

20

【 0 0 3 8 】

図 6 に示す作成装置は、レーザ光源 1 はパルス波を発振動作する Y b : Y A G 結晶を用いたピコ秒レーザ光源を使用した。レーザ光源 1 から出射するレーザビームの偏光はレーザ光源 1 の設置面に垂直な直線偏光である。また、レーザビームを周方向に集光する手段には、シリンドリカル形状の焦点距離 5 0 m m のテレセントリック F レンズ 1 1 を配置した。レーザビームを軸方向に集光する集光手段 1 1 には、シリンドリカル形状の焦点距離 3 0 0 m m のテレセントリック F レンズを配置した。加工対象物 1 2 (1 2 B) はチタン合金 (T i - 6 A l - 4 V) を使用した。加工対象物 1 2 B の回転駆動機構 1 3 (1 3 B) は、図には省略しているが、加工対象物 1 2 B を回転中心で保持するチャック機能を備える。この図 6 に示す作成装置の他の構成は、図 1 に示す作成装置と同様であるので、同一の部材は図 1 の符号と同一の符号を附してそれらの説明を省略する。

30

【 0 0 3 9 】

この実施形態では、正弦波ビート形状のスパイラルパターンの軸方向の周期構造の最大幅を 1 0 0 μ m とし最小幅を 2 0 μ m とした。焦点距離 3 0 0 m m のテレセントリック F レンズで、チタン合金に最大幅 1 0 0 μ m の周期構造を作成するビームエキスパンダの倍率は等倍程度であった。また、最小幅の 2 0 μ m を作成するビームエキスパンダの倍率は 5 倍程度であった。よって、ビームレデューサの可変倍率を等倍から 5 倍の間で無段階に変更できるズーム構成とし、加工対象物 1 2 が 1 回転する間に、等倍から 5 倍の倍率で正弦波ビート形状の軸方向幅に合わせた 4 回のズーム動作を行うように、同期制御回路 2 0 で制御した。また、第 1 の周期構造 3 1 から第 2 の周期構造 3 2 に切り替わる間に、偏光回転機構 2 でレーザ偏光を 9 0 度回転させて、対向スパイラルパターンを作成した。

40

【 0 0 4 0 】

さらに、周期構造の深さを略一定に保つために、焦点位置における集光スポットの単位面積あたりのエネルギー量 (フルエンス) が略一定になるように、ビームエキスパンダの倍率が 5 倍のときはレーザエネルギーを 4 μ J / pulse に変更し、ビームエキスパンダの倍率が 2 . 5 倍のときはレーザエネルギーを 1 0 μ J / pulse に変更し、ビームエキスパンダの倍率が等倍のときはレーザエネルギーを 2 0 μ J / pulse に変更し、それらの間にあるときはビームエキスパンダの倍率に比例したレーザエネルギーになるように、作成幅の設計値を基に 0 . 1 m s 毎のビームエキスパンダの倍率とレーザ出力のデータテーブルを作成しておき、これを同期制御回路 2 0 に記憶させた。なお、レーザエネルギーの変更指令に対するレーザ光源

50

1の応答時間は0.2msなので、同期制御回路20の制御サイクルは0.1msで構成した。

【0041】

すなわち、この第2の実施形態に示す作成装置では、加工のタクトを一定に保つことができる。例えば、作成幅を定格の半分にしたい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が2倍になるように拡大したうえで、レーザー出力を半減することでフルエンスを略一定に保つことができる。逆に、作成幅を定格の2倍にしたい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が1/2倍になるように縮小したうえで、レーザー出力を増強することでフルエンスを略一定に保つことができる。前記レーザービーム径の拡縮手段は走査の方向には作用しないので、このように、フルエンスを略一定に保つことで、前記の走査の速度値を変更することなく、周期構造の作成幅だけを変更することができる。さらに、レーザービームの出力を所定の周期で変更して、フルエンスに変化を与えることで、周期構造の深さに傾斜を持たせることができる。

10

【0042】

図8に作成装置の第3の実施形態の簡略全体斜視図を示す。この作成装置にて、図7に示す機械システムの摺動面21aに螺旋形状のラジアルパターン周期構造を作成する。この場合の加工対象物12(12C)は円盤体である。

【0043】

この摺動面21aのテクスチャは、放物螺旋(数5)を模した形状の作成領域に放射状の方向性を持つ周期構造41と、レーザー照射しない領域43を介して交互に連なる、間欠的な周期構造から成るテクスチャ構造である。外周部から内周にかけて周期構造41の間隔が小さくなるよう構成するとともに、隣接する周期構造41とレーザー照射しない領域43の作成幅が略同寸になるようなテクスチャ構造である。

20

【数5】

$$r = a\sqrt{\theta}$$

【0044】

レーザー光源1、偏光回転機構2、第1ミラー3、及び第1拡縮手段4を図6のレーザー光源1、偏光回転機構2、第1ミラー3、及び第1拡縮手段4と同様とし、第2ミラー8、スキャナミラー9、ガルバノスキャナ10、レーザービーム集光手段11、回転駆動機構13(13B)は、図1に示す第2ミラー8、スキャナミラー9、ガルバノスキャナ10、レーザービーム集光手段11、回転駆動機構13(13A)と同様としている。加工対象物12(12C)はクロム合金ステンレス工具鋼を使用した。加工対象物12Cの回転駆動機構13Cは、図には省略しているが、加工対象物12Cを回転中心で保持するチャック機能を備える。この図8に示す作成装置の他の構成は、図1に示す作成装置と同様であるので、同一の部材は図1の符号と同一の符号を附してそれらの説明を省略する。

30

【0045】

本実施形態では、螺旋形状のラジアルパターン周期構造の径方向の周期構造の最大幅を100μmとし最小幅を50μmとした。焦点距離300mmのテレセントリックFレンズで、クロム合金ステンレス工具鋼に最大幅100μmの周期構造を作成するビームエキスパンダの倍率は等倍程度であった。また、最小幅の50μmを作成するビームエキスパンダの倍率は2倍程度であった。よって、ビームエキスパンダの可変倍率は等倍から2倍の間で無段階に変更できるズーム構成とした。さらに、レーザービームの第2拡縮手段5として、可変倍率を等倍から1/2倍の間で無段階に変更できるズーム構成のビームレデューサを備えた。

40

【0046】

第2拡縮手段5は3枚のシリンдриカルレンズで構成した電動機構を有する可変倍率式のビームレデューサである。この場合、シリンдриカルレンズ5a、5bの主点間距離d

50

a を電動の直動機構 7 a で変化させることが出来る。また、シリンドリカルレンズ 5 b、5 c の主点間距離 d b を電動の直動機構 7 b で変化させることが出来る。

【 0 0 4 7 】

シリンドリカルレンズ 5 a の焦点距離を f 1 とし、シリンドリカルレンズ 5 b の焦点距離を f 2、シリンドリカルレンズ 5 c の焦点距離を f 3 としたとき、所望するビームレデューサの倍率 M によって、d a と d b の値を計算で求めることができる（数 5、数 6）。

【数 6】

$$da = f1 + f2 + \frac{f1 \times f2 \times M}{f3}$$

10

【数 7】

$$db = f2 + f3 + \frac{f2 \times f3}{M \times f1}$$

【 0 0 4 8 】

本実施形態では、周期構造の作成幅を変更してもレーザーの利用効率を最大に保てるように、レーザー出力を調整する代わりに、レーザー走査の速度を調整した。螺旋の回転量を略 10 回転と定めて、加工対象物 1 2 が略 10 回転する間の、ガルバノスキャナ (r) と加工対象物の回転機構 () の位置座標を、(数 4) と周期構造の作成幅縮小分に相当する速度増加量から計算して、0 . 5 m s 毎のデータテーブルに変換して (図 9)、これを同期制御回路 2 0 に記憶させた。また、周期構造の作成幅の設計値を基に 0 . 5 m s 毎のビームエキスパンダ倍率とビームレデューサ倍率のデータテーブルを作成しておき、これを同期制御回路 2 0 に記憶させた。この、r - によるレーザー走査と同時に、周期構造の作成幅を縮小するために、ズームエキスパンダは等倍から 2 倍の倍率で 1 回のズーム動作を行うとともに、ビームレデューサも等倍から 1 / 2 倍の倍率になるように、同期制御回路 2 0 で制御して、螺旋形状のラジアルパターン周期構造を作成した。

20

【 0 0 4 9 】

すなわち、この第 3 の実施形態に示す作成装置では、レーザーの利用効率を最大に保つことができる。例えば、作成幅を定格の半分に変更したい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が 2 倍になるように拡大したうえで、レーザービーム径の第 2 拡縮手段で前記の走査に対して略平行方向にのみビーム径が 1 / 2 倍になるように縮小してフルエンスを略一定に保った状態で前記の走査の速度値を倍増させる。逆に、作成幅を定格の 2 倍に変更したい場合は、前記の走査に対して略直交する方向にのみビーム径が 1 / 2 倍になるように縮小したうえで、レーザービーム径の第 2 拡縮手段で前記の走査に対して略平行方向にのみビーム径が 2 倍になるように拡大してフルエンスを略一定に保った状態で前記の走査の速度値を半減させる。すなわち、レーザー出力を変更することなく加工対象物の同一部分におけるレーザー照射の累積エネルギー量を略一定に制御することで、周期構造の作成幅を変更してもレーザーの利用効率を最大に保つことができる。ここで、略平行とは、平行状態から当業者が設定上又は製造上の誤差と認識し得るような範囲をいい、平行を含む。

30

40

【 0 0 5 0 】

本発明は前記実施形態に限定されることなく種々の変形が可能であって、例えば、加工対象物として、各種の自動車部品、機械部品、ポンプ等の種々の機器に使用可能である。また、加工対象物の材質として、炭素鋼、銅、アルミニウム、白金、超合金等の金属系であっても、炭化ケイ素や窒化ケイ素等のシリコン系セラミックであっても、エンジニアプラスチック等であってもよい。周期構造が形成された加工対象物は、この周期構造が作成

50

された摺動面を、対向部材の摺動面に重ね合されて、相対的に摺動するものである。このため、対向部材の摺動面にも周期構造が作成されたものであってもよい。また、摺動面間に潤滑剤を介在させるのが好ましい。

【符号の説明】

【 0 0 5 1 】

4 第1 拡縮手段

4 a、4 b、4 c シリンドリカルレンズ

5 第2 拡縮手段

5 a、5 b、5 c シリンドリカルレンズ

6 a、6 b、7 a、7 b、 直動機構

10

7 a、7 b、 直動機構

1 1 集光手段

1 2 , 1 2 A , 1 2 B , 1 2 C 加工対象物

1 3 , 1 3 A , 1 3 B , 1 3 C 走査手段 (回転駆動機構)

2 3 , 3 1 , 3 3 , 4 1 周期構造

20

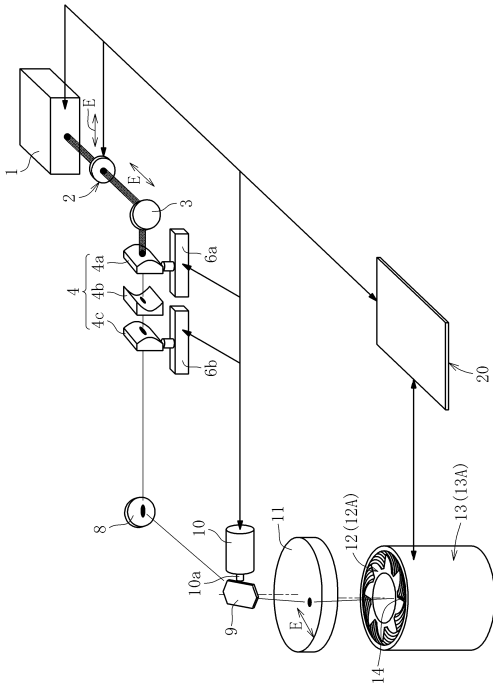
30

40

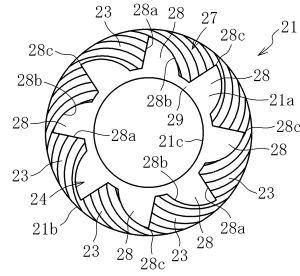
50

【図面】

【図 1】



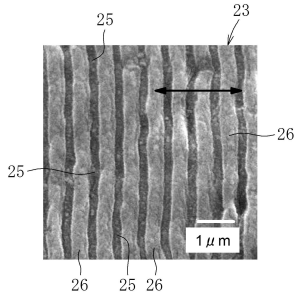
【図 2】



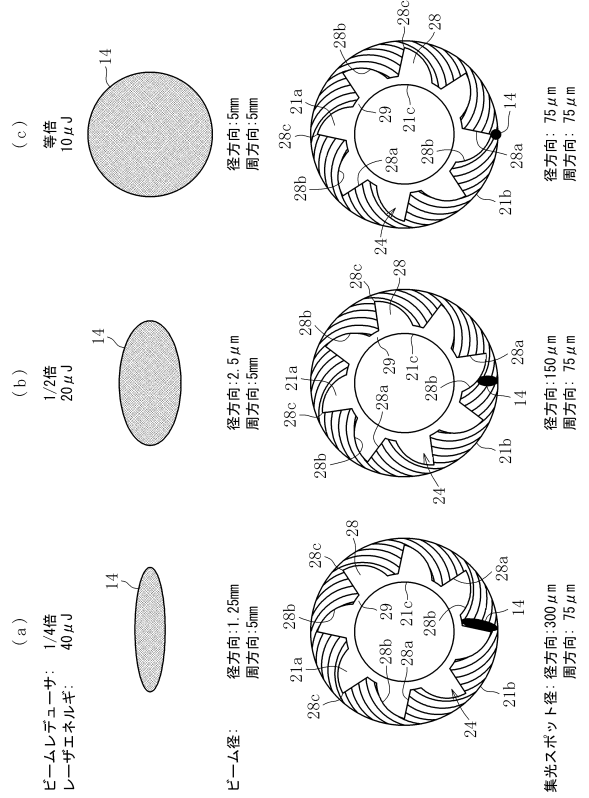
10

20

【図 3】



【図 4】

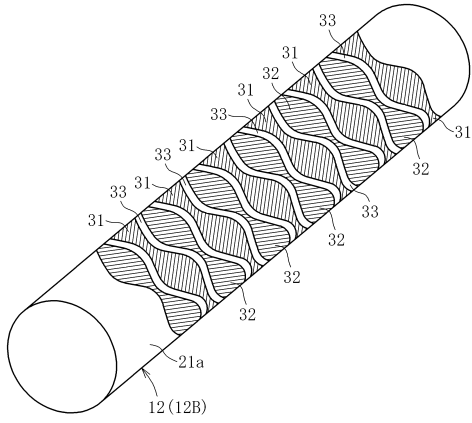


30

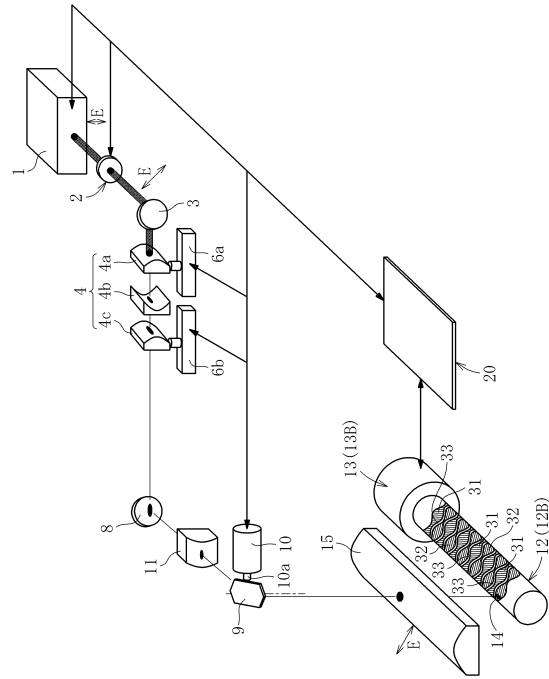
40

50

【図5】



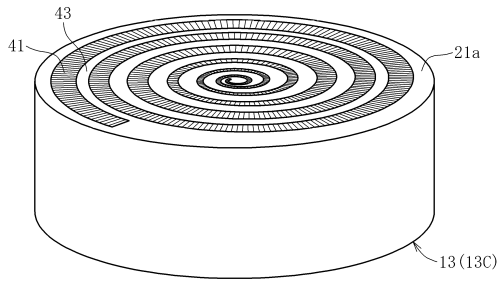
【図6】



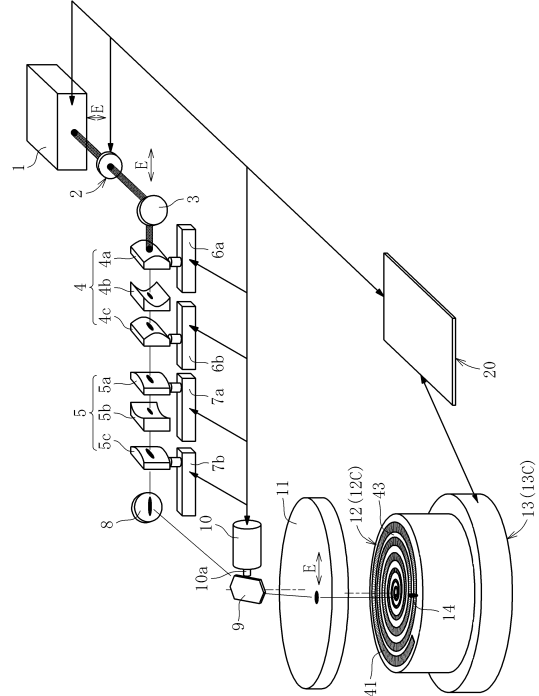
10

20

【図7】



【図8】

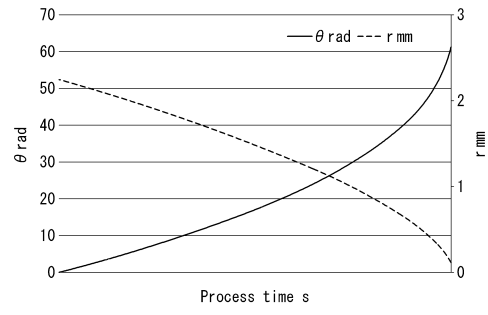


30

40

50

【 9 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2016 - 215269 (JP, A)
国際公開第 2004 / 035255 (WO, A1)
特開 2006 - 116570 (JP, A)
特開平 07 - 068392 (JP, A)
特開 2010 - 207889 (JP, A)
特開 2017 - 35710 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B23K 26 / 00 - 26 / 70