

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7066131号
(P7066131)

(45)発行日 令和4年5月13日(2022.5.13)

(24)登録日 令和4年5月2日(2022.5.2)

(51)国際特許分類		F I	
B 2 2 F	10/364 (2021.01)	B 2 2 F	10/364
B 3 3 Y	10/00 (2015.01)	B 3 3 Y	10/00
B 3 3 Y	30/00 (2015.01)	B 3 3 Y	30/00
B 2 2 F	10/25 (2021.01)	B 2 2 F	10/25

請求項の数 7 (全16頁)

(21)出願番号	特願2018-40947(P2018-40947)	(73)特許権者	899000079 慶應義塾 東京都港区三田2丁目15番45号
(22)出願日	平成30年3月7日(2018.3.7)	(73)特許権者	000146847 DMG森精機株式会社 奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(65)公開番号	特開2019-157149(P2019-157149 A)	(74)代理人	100100158 弁理士 鮫島 睦
(43)公開日	令和1年9月19日(2019.9.19)	(74)代理人	100131808 弁理士 柳橋 泰雄
審査請求日	令和2年9月11日(2020.9.11)	(72)発明者	小池 綾 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番 1号 慶應義塾大学 理工学部内
		(72)発明者	三澤 太郎 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ積層造形方法及びレーザ積層造形装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光を照射領域に照射する照射部及び前記照射領域に金属粉末を供給する供給部を有するヘッドと、前記ヘッド及び被加工物を相対的に移動させる移動機構と、を備えたレーザ積層造形装置を用いて、被加工物の表面に造形物を形成する方法であって、レーザ光の照射及び金属粉末の供給を行う状態で、前記ヘッドを前記被加工物に対して移動させて積層する処理を複数回行って、前記被加工物の上に複数層からなる積層物を形成する積層工程と、

前記積層工程の後、レーザ光の照射を行い金属粉末の供給を行わない状態で、前記ヘッドを前記被加工物に対して移動させて、前記積層物の表面にレーザ光を照射して再熔融させる再熔融工程と、

を含む積層、再熔融プロセスを少なくとも1回実施して前記造形物を形成し、

前記積層工程において、ニッケル基合金からなる面心立方構造を有する前記積層物が形成され、

前記再熔融工程において、前記積層工程で形成された前記積層物の結晶の成長方向と交わる方向から前記積層物の表面にレーザ光を照射して、結晶の成長方向をレーザ照射方向に変化させることを特徴とするレーザ積層造形方法。

【請求項2】

前記再熔融工程で再熔融する領域の深さが、前記積層工程で形成された前記積層物の積層厚みの1/2以下であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ積層造形方法。

【請求項 3】

前記積層工程におけるレーザ光の照射出力及び前記ヘッドの前記被加工物に対する移動速度と、前記再溶融工程におけるレーザ光の照射出力及び前記ヘッドの前記被加工物に対する移動速度とが一致することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ積層造形方法。

【請求項 4】

前記積層工程におけるレーザ光の照射方向と、前記再溶融工程におけるレーザ光の照射方向が角度 をなすことを特徴とする請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載のレーザ積層造形方法。

【請求項 5】

前記造形物が工具チップであって、前記再溶融工程において、形成する前記造形物の稼働面側の積層物の面に、その法線方向からレーザ光を照射することを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載のレーザ積層造形方法。

10

【請求項 6】

前記再溶融工程において、レーザ光の照射方向を変化させながら前記ヘッドを被加工物に対して移動させることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載のレーザ積層造形方法。

【請求項 7】

レーザ光を照射領域に照射する照射部及び前記照射領域に金属粉末を供給する供給部を有するヘッドと、

前記ヘッド及び被加工物を相対的に移動させる移動機構と、

20

前記照射部、前記供給部及び前記移動機構を制御する制御部と、

を備えた、被加工物の表面に造形物を形成する装置であって、

前記制御部が、

前記照射部及び前記供給部をオンにした状態で前記移動機構を駆動する制御処理を複数回行うことにより、前記ヘッドが前記被加工物に対して移動して積層が行なわれる処理が複数回行なわれて、前記被加工物の上に複数層からなる積層物が形成される積層ステップと、前記積層ステップの後、前記照射部をオンにし、前記供給部をオフにした状態で前記移動機構を駆動することにより、前記積層物の表面にレーザ光が照射されて再溶融が生じる再溶融ステップと、

を含む積層、再溶融制御処理を少なくとも 1 回実施し、

30

前記積層ステップにおいて、ニッケル基合金からなる面心立方構造を有する前記積層物が形成され、

前記再溶融ステップにおいて、前記積層ステップで形成された前記積層物の結晶の成長方向と交わる方向から前記積層物の表面にレーザ光が照射され、結晶の成長方向をレーザ照射方向に変化させることを特徴とするレーザ積層造形装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ光及び粉末材料を供給しながら被加工物に対して走査を行って、被加工物の表面に造形物を形成するレーザ積層造形方法及びレーザ積層造形装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

レーザ光及び粉末材料を供給しながら被加工物に対して走査を行って、被加工物の表面に造形物を形成するレーザ積層造形方法が普及しはじめている。このようなレーザ積層造形方法の中には、積層中心位置付近に沿ってパウダーを供給し、パウダーをレーザ光で溶融し、積層中心位置付近に沿った溶融を複数回行うことで多層に積層する方法が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

50

【文献】特開平2007-301980号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に記載のレーザ積層造形方法により、パウダーをレーザ光で溶融しながら、積層中心位置付近に沿った溶融を複数回行うことで、複数の層を積層できる。しかし、積層工程の間に、異物の混入、噴射ガスの混入、酸化・窒化等の化学反応、加熱不足等により、空孔が生じる可能性がある。特に、積層物内部の結晶方位が乱れた領域では空孔が生じ易く、この空孔により造形物の強度が低下する問題が生じる。特に、積層物の表面近傍において結晶方位の乱れが大きいため、表面硬度が低下するという問題も生じる。

10

【0005】

本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、造形物内部の空孔を低減することにより造形物の強度を向上させるとともに、造形物の表面硬度を向上させることができるレーザ積層造形方法及びレーザ積層造形装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明の1つの実施態様に係るレーザ積層造形方法では、レーザ光を照射領域に照射する照射部及び前記照射領域に金属粉末を供給する供給部を有するヘッドと、前記ヘッド及び被加工物を相対的に移動させる移動機構と、を備えたレーザ積層造形装置を用いて、被加工物の表面に造形物を形成する方法であって、

20

レーザ光の照射及び金属粉末の供給を行う状態で、前記ヘッドを前記被加工物に対して移動させて積層する処理を複数回行って、前記被加工物の上に複数層からなる積層物を形成する積層工程と、

前記積層工程の後、レーザ光の照射を行い金属粉末の供給を行わない状態で、前記ヘッドを前記被加工物に対して移動させて、前記積層物の表面にレーザ光を照射して再溶融させる再溶融工程と、

を含む積層、再溶融プロセスを少なくとも1回実施して前記造形物を形成する。

【0007】

上記課題を解決するために、本発明の1つの実施態様に係るレーザ積層造形装置では、レーザ光を照射領域に照射する照射部及び前記照射領域に金属粉末を供給する供給部を有するヘッドと、

30

前記ヘッド及び被加工物を相対的に移動させる移動機構と、

前記照射部、前記供給部及び前記移動機構を制御する制御部と、

を備えた、被加工物の表面に造形物を形成する装置であって、

前記制御部が、

前記照射部及び前記供給部をオンにした状態で前記移動機構を駆動する制御処理を複数回行うことにより、前記ヘッドが前記被加工物に対して移動して積層が行なわれる処理が複数回行なわれて、前記被加工物の上に複数層からなる積層物が形成される積層ステップと、前記積層ステップの後、前記照射部をオンにし、前記供給部をオフにした状態で前記移動機構を駆動することにより、前記積層物の表面にレーザ光が照射されて再溶融が生じる再溶融ステップと、

40

を含む積層、再溶融制御処理を少なくとも1回実施する。

【発明の効果】

【0008】

上記態様によれば、造形物内部の空孔を低減することにより造形物の強度を向上させるとともに、造形の表面硬度を向上させることができるレーザ積層造形方法及びレーザ積層造形装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の1つの実施形態に係るレーザ積層造形装置の構成を模式的に示す図であ

50

る。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の積層工程を模式的に示す図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の再溶融工程を模式的に示す図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の再溶融工程を構成する (a) 平面再溶融処理、及び (b) 側面再溶融処理を模式的に示す図である。

【図 5】本発明の第 3 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の再溶融工程を構成する (a) 平面再溶融処理、及び (b) 傾斜面再溶融処理を模式的に示す図である。

【図 6】本発明の第 4 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の再溶融工程を模式的に示す図である。

10

【図 7】再溶融工程を実施した場合と実施しない場合における造形物の空孔率を比較して示したグラフである。

【図 8】結晶方位制御試験のための側面再溶融処理の手順を模式的に示す斜視図である。

【図 9】図 8 に示す手順で側面再溶融処理を施した造形物の結晶方位の変化を示す断面エッチング画像である。

【図 10】面心立方構造を有する造形物における側面再溶融処理による結晶方位の変化を表す薄膜 X 線解析結果を示すグラフである。

【図 11】側面再溶融処理による表面硬度の変化を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 1 0 】

以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための実施形態を説明する。なお、以下に説明する実施形態は、本発明の技術思想を具体化するためのものであって、特定の記載がない限り、本発明を以下のものに限定しない。

各図面中、同一の機能を有する部材には、同一符号を付している場合がある。要点の説明または理解の容易性を考慮して、便宜上実施形態を分けて示す場合があるが、異なる実施形態で示した構成の部分的な置換または組み合わせは可能である。後述の実施形態では前述の実施形態と共通の事柄についての記述を省略し、異なる点についてのみ説明する。特に、同様の構成による同様の作用効果については、実施形態ごとには逐次言及しないものとする。各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため、誇張して示している場合もある。

30

【 0 0 1 1 】

(1 つの実施形態に係るレーザ積層造形装置)

はじめに、図 1 を参照しながら、本発明の 1 つの実施形態に係るレーザ積層造形装置の説明を行う。図 1 は、本発明の 1 つの実施形態に係るレーザ積層造形装置の構成を模式的に示す図である。図 1 (a) は、レーザ積層造形装置 2 の吹出ノズル 2 2 部分を断面で示した模式的な側面図であり、図 1 (b) は、図 1 (a) の矢視 A - A 図である。

【 0 0 1 2 】

本実施形態に係るレーザ積層造形装置 2 は、レーザ光 L (一点鎖線の矢印参照) を照射領域 S に照射する照射部 1 0 及び照射領域 S に金属粉末 P (破線の矢印参照) を供給する供給部 2 0 を有するヘッド 3 0 を備える。更に、レーザ積層造形装置 2 は、ヘッド 3 0 及び被加工物 6 0 を相対的に移動させる移動機構 4 0 と、照射部 1 0、供給部 2 0 及び移動機構 4 0 を制御する制御部 7 0 とを備える。このような構成により、レーザ積層造形装置 2 は、被加工物 6 0 の表面に造形物を形成することができる。

40

【 0 0 1 3 】

本実施形態では、被加工物 6 0 は移動せず、移動機構 4 0 によりヘッド 3 0 が移動するようになっている。ただしこれに限られるものではなく、ヘッド 3 0 は移動せず、被加工物 6 0 が移動する場合もあり得るし、ヘッド 3 0 及び被加工物 6 0 の両方が移動する場合もあり得る。

【 0 0 1 4 】

50

< 照射部 10 >

照射部 10 について更に詳細に述べれば、照射部 10 は、レーザ光源装置 12 と、レーザ光源装置 12 の出射側に光学的に接続された光ファイバ 14 と、光ファイバ 14 の出射側に光学的に接続された光学系 16 とを備える。本実施形態に係るレーザ光源装置 12 は、波長 1060 nm のレーザ光を出射するが、これに限られるものではなく、例えば、800 ~ 1080 nm 程度の近赤外波長のレーザ光であれば、任意の波長のレーザ光を用いることができる。レーザ光源装置 12 の出力としては、2 kW ~ 10 kW を例示できるが、これに限られるものではない。レーザ光源装置 12 のタイプも、近赤外線領域のレーザ光を出射するレーザ光源であれば、YAG レーザをはじめとするその他の任意のシングルモードまたはマルチモードレーザ装置を用いることができる。

10

【0015】

レーザ光源装置 12 は、ヘッド 30 の筐体内に配置されて、移動機構 40 により筐体とともに移動する場合もあり得るし、筐体の外に配置されて移動しない場合もあり得る。レーザ光源装置 12 が移動しない場合には、光ファイバ 14 により、レーザ光源装置 12 及びヘッド 30 の間の相対的な位置変化を吸収するようになっている。

【0016】

レーザ光源装置 12 から出射されたレーザ光は、光ファイバ 14 を介して、光学系 16 へ入射する。光学系 16 は、例えば、光ファイバ 14 からの出射光を平行光にするコリメートレンズ、コリメートレンズからのレーザ光を照射領域 S に集光する集光レンズ等を備える。これにより、レーザ光源装置 12 から出射されたレーザ光は、光学系 16 の集光レンズにより、照射領域 S に集光され、略円形スポットが形成される（L で示す一点破線の矢印参照）。

20

【0017】

< 供給部 20 >

供給部 20 について更に詳細に述べれば、供給部 20 は、吹出ノズル 22 と、貯蔵部 26 と、吹出ノズル 22 及び貯蔵部 26 の間を繋ぐ供給管 24 とを備える。貯蔵部 26 に貯蔵された金属粉末が、キャリアガスとともに、供給管 24 内を流れて、供給部 20 の吹出ノズル 22 に流入する。吹出ノズル 22 には、供給管 24 と繋がったヘッド 22B と、ヘッド 22B に繋がった複数の流路 22A を備える。図 1 (a) の矢視 A-A 図である図 1 (b) に示すように、本実施形態では、略円形断面の 8 個の流路 22A が同心円状に配置されている。その内側の領域から、レーザ光が照射される。ただし、流路 22A の数は 8 に限られるものではなく、その他の任意の数の流路 22A を設けることができる。

30

更に、吹出ノズルとして、流路が円周状に繋がったテーパ状ノズルを用いることもできる。

【0018】

キャリアガスとともに供給管 24 からヘッド 22B に流入した金属粉末は、各流路 22A 内を

流れて、流路 22A の出射口から照射領域 S に供給される（P で示す破線の矢印参照）。キャリアガスとともに各流路 22A の出射口から流出した金属粉末が、照射領域 S に到達するように、流路 22A は同心円の中心側に向けて傾斜して配置されている。これにより、供給管 24 からヘッド 22B に流入した金属粉末 P は、各流路 22A 内を流れて、流路 22A の出射口から照射領域 S に供給される。

40

そして、照射領域 S に供給された金属粉末はレーザ光の照射により溶融して、金属の熔融池（メルトプール）が形成される。

【0019】

金属粉末としては、ステンレス鋼、ニッケル基合金（インコネル（登録商標））、タンゲステンカーバイド複合材料、銅合金、真鍮、コバルトクロムモリブデン合金、ステライト、工具鋼をはじめとする任意の金属材料を用いることができる。粉末材料の粒径としては、50 ~ 150 μm を例示できるが、これに限られるものではない。なお、被加工物 60 として、任意の金属材料を用いることができる。

キャリアガスとして、ヘリウム、アルゴン、窒素等の不活性ガスを用いることが好ましい

50

。更に、粉末材料を含むキャリアガスの外側に、不活性ガスからなるシールドガスを供給することもできる。これにより、レーザ積層における材料の酸化等を抑制することができる。また、レーザ光源装置 1 2 側に粉末材料等が流入することを防ぐため、同心円状に配置された流路 2 2 A の内側の領域から、シールドガスを吹き出すようにすることもできる。

【 0 0 2 0 】

貯蔵部 2 6 は、ヘッド 3 0 の筐体内に配置されて、筐体とともに移動機構 4 0 により移動する場合も、筐体の外に配置されて移動しない場合もあり得る。貯蔵部 2 6 が移動しない場合には、供給管 2 4 の一部がホース等の移動、変形が可能な部材で構成され、貯蔵部 2 6 及びヘッド 3 0 の筐体の間の相対的な位置変化を吸収するようになっている。

【 0 0 2 1 】

< 移動機構 4 0 >

移動機構 4 0 について更に詳細に述べれば、図 1 に示すように、被加工物 6 0 をテーブルに固定し、移動機構 4 0 のアクチュエータ 4 2 により、ヘッド 3 0 を図面水平方向（白抜き矢印参照）に移動させることができる。これにより、レーザ光 L と粉末材料 P を供給しながら被加工物 6 0 に対して走査してレーザ積層を行うことができる。なお、逆に、ヘッド 3 0 の位置を固定し、被加工物 6 0 を取り付けしたテーブルを、移動機構のアクチュエータにより、図面水平方向に移動させることもできる。また、ヘッド 3 0 及び被加工物 6 0 の両方を移動させることもできる。

本実施形態に係るレーザ積層造形装置 2 は、単独のレーザ積層造形装置の場合も、工作機械に組み込まれる場合もあり得る。工作機械に組み込まれる場合には、移動機構 4 0 として工作機械の移動機構を用いることもできる。

【 0 0 2 2 】

照射部 1 0、供給部 2 0 及び移動機構 4 0 を制御する制御部 7 0 については、レーザ積層造形方法の説明の後に、追って詳細に説明する。

【 0 0 2 3 】

（第 1 の実施形態に係るレーザ積層造形方法）

次に、図 2 及び図 3 を参照しながら、上記のレーザ積層造形装置 2 を用いて、被加工物 6 0 の表面上に積層物 5 0 を形成するレーザ積層造形方法の説明を行う。図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の積層工程を模式的に示す図である。図 3 は、本発明の第 1 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の再溶融工程を模式的に示す図である。

【 0 0 2 4 】

< 積層工程 >

はじめに、図 2 を参照しながら積層工程の説明を行う。積層工程では、照射部 1 0 によるレーザ光 L の照射及び供給部 2 0 による金属粉末 P の供給を行う状態で、移動機構 4 0 によりヘッド 3 0 を被加工物 6 0 に対して移動させる。供給部 2 0 により照射領域 S に供給された金属粉末は、レーザ光 L の照射により溶融して、被加工物 6 0 上に溶融池（メルトプール）が形成される。ヘッド 3 0 の移動により、溶融池（メルトプール）の位置が移動し、レーザ光 L が照射されなくなった領域の溶融金属は凝固して、被加工物 6 0 の上に金属層が形成される。これにより、所定のストロークにおいて、金属を積層する処理が実施できる。

【 0 0 2 5 】

この金属を積層する処理を複数回行って、被加工物 6 0 の上に複数層からなる金属の積層物 5 0 を形成する積層工程を行うことができる。図 2 に示す実施形態では、白抜き矢印に示すように、所定のストロークだけ、ヘッド 3 0 を被加工物 6 0 に対して往復移動させることにより、複数層を形成している。

【 0 0 2 6 】

ただし、これに限られるものではなく、ヘッド 3 0 を被加工物 6 0 に対して一方向に複数回移動させて、複数層を形成することもできる。つまり、レーザ光 L の照射及び金属粉末 S の供給を行う状態で、ヘッド 3 0 を一方向に移動させ、レーザ光 L の照射及び金属粉末 S の供給を行わない状態で、ヘッド 3 0 を反対の方向に移動させて、元の位置に戻す処

10

20

30

40

50

理を繰り返す積層方法もあり得る。

また、1回の積層する処理におけるヘッド30の被加工物60に対する移動量を変化させて、ヘッド30の移動開始地点、移動終了地点に対応する積層物50の側面において、斜めになった側面（例えば、図5、図6参照）や、曲面状の側面を形成することもできる。

【0027】

<再熔融工程>

次に、図3を参照しながら、再熔融工程の説明を行う。再熔融工程では、上記の積層工程で複数層の積層物50を形成した後、照射部10によるレーザー光Lの照射を行い、かつ供給部20による金属粉末の供給を行わない状態で、移動機構40によりヘッド30を被加工物60に対して移動させる。これにより、積層物50の表面にレーザー光Lを照射して、積層物50を再熔融させる再熔融工程を実施できる。

10

【0028】

本実施形態では、積層工程の後、再熔融工程を行う積層、再熔融プロセスを少なくとも1回実施して、被加工物60の表面に造形物を形成する。最後の積層、再熔融プロセスを終了した時点の積層物50が造形物となる。

具体的には、金属を積層する処理を10回（例えば、所定のストロークを5往復）行って10層の金属の積層物を形成する積層工程の後に、再熔融工程（例えば、所定のストロークを片道1回）を行う積層、再熔融プロセスを複数回繰り返して、数十層の造形物を形成する場合を例示することができる。なお、1回の積層工程で金属を積層する処理を繰り返す回数は、任意の回数を選択することができる。

20

【0029】

再熔融工程は、積層工程終了後、速やかに開始されるが、積層工程で供給された金属粉末は、レーザー照射で熔融した後、凝固状態または少なくとも半凝固状態になっている。よって、金属が熔融した熔融池（メルトプール）が存在する状態で、再熔融工程におけるレーザー光の照射が開始されることはない。なお、再熔融工程は、積層物50にレーザー光Lを1回（1ストローク分）だけ照射する場合だけでなく、再熔融させる領域の深さに応じて、複数回（複数ストローク分）照射する場合もあり得る。

【0030】

積層工程においては、異物の混入、噴射ガスの混入、酸化・窒化等の化学反応、加熱不足等により、空孔が生じる可能性がある。特に、積層物50内部の結晶方位が乱れた領域で空孔が生じ易く、積層物50の表面近傍により多くの空孔が生じる。よって、そのままでは、製品となる造形物の強度が低下し表面硬度も低下する問題が生じる。

30

本実施形態では、再熔融工程において、積層物50にレーザー光Lを照射して再熔融するので、レーザー照射方向（照射されたレーザー光Lの光軸方向）に向かって温度勾配が生じる。この温度勾配に応じて再凝固することにより、金属組織を改質され、結晶方位の乱れを低減できる。特に、Ni基合金等においては、金属結晶がこの温度勾配方向に沿って成長するため、結晶方位の乱れを効果的に解消できる。

金属組織を改質することにより、空孔を低減することができ、造形物の強度、特に表面近傍における強度を向上させるとともに、表面硬度を向上させることができる。後述するように、面心立方構造を有する造形物においては、再熔融工程により、金属結晶の（200）面をレーザー光Lが照射された積層物表面に向けることができるので、造形物の表面硬度を効果的に向上させることができる。

40

【0031】

以上のように、本実施形態では、造形物内部の空孔を低減することにより、造形物の強度を向上させるとともに、造形物の表面硬度を向上させることができる。

【0032】

再熔融工程で再熔融する領域の深さとしては、積層工程で形成された積層物50の積層厚みの1/2以下であることが好ましい。このようにすることにより、積層物50の表面近傍に多く存在する空孔を低減して、積層物50の高密度化及び表面硬度の向上を実現するとともに、積層物全体として偏りのない金属結晶方位を備えることができるので、優れた

50

強度や靱性を有する積層物 50、延いては造形物を形成できる。

【0033】

更に、積層工程におけるレーザ光 L の照射出力及びヘッド 30 の被加工物 60 に対する移動速度と、再溶融工程におけるレーザ光 L の照射出力及びヘッド 30 の被加工物 60 に対する移動速度とを略一致させることが好ましい。レーザ光 L の照射出力及びヘッド 30 の被加工物 60 に対する移動速度を、積層工程及び再溶融工程で略一致させることにより、再溶融領域の積層物 50 全体に対する割合を、比較的容易にかつ確実にコントロールすることができる。

【0034】

<積層工程及び再溶融工程における制御方法>

上記の積層工程及び再溶融工程を実施するための、図 1 に示すレーザ積層造形装置 2 の制御部 70 は、以下の制御ステップを実施する。

(1) 積層ステップ

照射部 10 及び供給部 20 をオンにした状態で、移動機構 40 を駆動する制御処理を複数回行う。これにより、ヘッド 30 が被加工物 60 に対して移動して積層が行なわれる処理が複数回行なわれて、被加工物 60 の表面上に複数層からなる積層物が形成される。

(2) 再溶融ステップ

上記の積層ステップの後、照射部 10 をオンにし、かつ供給部 20 をオフにした状態で移動機構 40 を駆動する制御処理を行う。これにより、積層物 50 の表面にレーザ光 L が照射されて再溶融処理を行うことができる。

(3) 以上のような積層ステップ及び再溶融ステップを含む積層、再溶融制御処理を少なくとも 1 回実施する。

【0035】

制御部 70 が上記のような制御処理を実行することにより、強度及び表面硬度において優れた造形物を形成可能なレーザ積層造形装置 2 が実現される。

【0036】

上記の実施形態では、再溶融工程において、レーザ光 L を照射する方向が積層工程における照射方向と同じである平面照射を示しているが、これに限られるものではなく、再溶融工程において、積層工程における照射方向と異なる方向からレーザ光 L を照射する場合もあり得る。それに関して、図 4 から図 6 を参照しながら詳細に説明する。

【0037】

(第 2 の実施形態に係るレーザ積層造形方法)

始めに図 4 を参照しながら、本発明の第 2 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の説明を行う。図 4 は、本発明の第 2 の実施形態に係るレーザ積層造形方法の再溶融工程を構成する (a) 平面再溶融処理、及び (b) 側面再溶融処理を模式的に示す図である。

図 4 では、上記の実施形態と同様に、広面である上面 52、及び上面 52 と略垂直な側面 54 を有する積層物 50 を再溶融する場合を示す。

【0038】

図 4 (a) は、図 3 に示す場合と同様に、レーザ光 L を積層工程と同じ方向から照射する平面照射を行った平面再溶融処理を示す。これにより、積層物 50 の上面 52 に、レーザ光 L が上面 52 の略法線方向から照射される。この平面再溶融処理により、上面 52 近傍の強度及び表面硬度の向上が図れる。

【0039】

図 4 (b) は、レーザ光 L を積層工程の方向と略直交する方向から照射する側面照射を行った側面再溶融処理を示す。レーザ光 L を積層物 50 の側面 54 に照射する側面照射において、側面 54 の略法線方向からレーザ光を照射することが好ましい。この側面溶融処理により、側面 54 近傍の強度及び表面硬度を向上させることができる。

以上のように、第 2 の実施形態に係るレーザ積層造形方法により、上面だけでなく側面においても、強度及び表面硬度を向上させることができる。例えば、造形物が上面及び側面を稼働面とする工具チップの場合、強度及び表面硬度において優れた稼働面を有する工具

10

20

30

40

50

チップを提供することができる。

【 0 0 4 0 】

(第3の実施形態に係るレーザー積層造形方法)

次に、図5を参照しながら、本発明の第3の実施形態に係るレーザー積層造形方法の説明を行う。図5は、本発明の第3の実施形態に係るレーザー積層造形方法の再溶融工程を構成する(a)平面再溶融処理、及び(b)傾斜面再溶融処理を模式的に示す図である。

図5では、広面である上面52、及び上面52に対して角度 θ だけ傾斜した傾斜面56を有する積層物50を再溶融する場合を示す。

【 0 0 4 1 】

図5(a)は、レーザー光Lを積層工程と同じ方向から照射する平面照射を行った平面再溶融処理を示す。これにより、積層物50の上面52にレーザー光Lが被照射面の略法線方向から照射される。この平面再溶融処理により、上面52近傍の強度及び表面硬度を向上させることができる。

10

【 0 0 4 2 】

図5(b)は、レーザー光Lを積層工程の方向と角度 θ だけ傾斜した方向から照射する傾斜面照射を行った傾斜面再溶融処理を示す。レーザー光Lを積層物50の傾斜面56に照射する傾斜面照射において、傾斜面56の略法線方向からレーザー光を照射することが好ましい。この傾斜面溶融処理により、傾斜面56近傍の強度及び表面硬度を向上させることができる。

【 0 0 4 3 】

以上のように、第3の実施形態に係るレーザー積層造形方法では、積層工程におけるレーザー光の照射方向及び再溶融工程におけるレーザー光の照射方向が、角度 θ をなすようにレーザー光を照射することができる。よって、造形物の稼働面の位置や形状に合わせて、再溶融工程におけるレーザー光の照射方向を変えることができるので、造形物の稼働面近傍の強度や表面硬度を効果的に向上させることができる。例えば、造形物が上面及び傾斜面を稼働面とする工具チップの場合、強度及び表面硬度において優れた稼働面を有する工具チップを提供することができる。

20

なお、傾斜角 θ が90度の場合が、図4に示す第2の実施形態に該当するということもできる。

【 0 0 4 4 】

(第4の実施形態に係るレーザー積層造形方法)

次に、図6を参照しながら、本発明の第4の実施形態に係るレーザー積層造形方法の説明を行う。図6は、本発明の第4の実施形態に係るレーザー積層造形方法の再溶融工程を模式的に示す図である。

図6では、広面である上面52の両側に、上面52に対して角度 θ だけ傾斜した傾斜面56A及び傾斜面56Bを有する積層物50を再溶融する場合を示す。

【 0 0 4 5 】

図6に模式的に示すように、本実施形態では、再溶融工程において、レーザー光Lの照射方向を変化させながらヘッド30を被加工物に対して移動させるようになっている。図面左側の傾斜面56Aをレーザー光Lで照射する場合には、積層工程に比べて、ノズル22を角度 θ だけ傾斜させて、レーザー光Lを傾斜面56Aの略法線方向から照射する。ヘッド30が更に移動して、図面中央の上面52を照射する場合には、ノズル22を積層工程と同じ方向に戻して、レーザー光Lを上面52の略法線方向から照射する。ヘッド30が更に移動して、図面右側の傾斜面56Bを照射する場合には、ノズル22を角度 θ だけ反対側に傾斜させて、レーザー光Lを傾斜面56Bの略法線方向から照射する。

40

【 0 0 4 6 】

このように、積層物50の表面の向きや表面形状に合わせて、レーザー光Lの照射方向を変化させながらヘッド30を移動させることにより、各領域で最適な温度勾配を有する再溶融を実現できる。例えば、レーザー積層造形装置2を工作機械内に配置する場合には、工作機械の移動、回転機構を利用することにより、レーザー光Lの照射方向を変化させながら

50

ッド30を移動させる動きを、比較的容易にかつ正確に実現することができる。

【0047】

以上のように、再溶融工程において、形成する造形物の稼働面側の積層物50の面に、その法線方向からレーザー光Lを照射することにより、造形物の稼働面近傍の強度や稼働面の表面硬度を効果的に向上させることができる。

【0048】

(実施例)

実際に上記の積層工程及び再溶融工程を実施して、被加工物の表面に造形物を形成して試験した結果を以下に詳細に述べる。なお、本実施例では、吹出ノズルとして、流路が円周状に繋がったテーパ状ノズルを用いた。

【0049】

<空孔率低減試験>

始めに、再溶融処理が造形物内部の空孔に与える影響を試験的に評価する空孔率低減試験を行った。空孔率低減試験では、積層工程で10層の積層物を形成することに再溶融工程を行う積層、再溶融プロセスを3回、5回及び7回繰り返して、30層、50層及び70層の造形物を実施例として形成した。更に、再溶融工程を行わずに積層工程だけで、30層、50層及び70層の造形物を比較例として形成した。

空孔率低減試験における積層工程の条件及び再溶融工程の条件を下表に示す。

【0050】

[表1] 積層工程の条件

項目	単位	数値等
レーザー出力	W	1600
金属粉末供給量	g/min	18
キャリアガス供給量	l/min	6
シールドガス供給量	l/min	4
送り速度	mm/min	1000
積層数	—	30、50、70
金属粉末	—	インコネル625

【0051】

[表2] 再溶融工程の条件

項目	単位	数値
レーザー出力	W	1600
送り速度	mm/min	1000

【0052】

本試験においては、積層工程におけるレーザー光の照射出力及びヘッドの被加工物に対する移動速度と、再溶融工程におけるレーザー光の照射出力及びヘッドの被加工物に対する移動速度とが一致している。このようにして得られた実施例及び比較例について、アプレシブジェット加工機により切断し、その断面を粒子径1µmのダイヤモンドスラリーを用いて鏡面研磨した。その後、光学顕微鏡により造形物断面画像を得た。この造形物断面画像を二値化し、総ピクセル数に対する黒色ピクセル数の比を空孔率として算出した。これにより得られた「再溶融工程を実施した場合と実施しない場合における造形物の空孔率を比較して示したグラフ」を図7に示す。

【0053】

図7から明らかなように、30層、50層及び70層の何れの場合においても、10層ごとに再溶融処理を行うことにより、空孔率が低減されることが確認できた。特に、70

10

20

30

40

50

層の造形物では、60%の空孔率低減を達成した。多層造形物の上層近傍における結晶方位の乱れによって、多くの微小空孔が生じるが、再溶融することにより、この微小空孔が低減できたと考えられる。

以上のように、積層工程に加えて再溶融工程を実施する本発明に係るレーザ積層造形方法によって、結晶方位の乱れを解消することにより、空孔を低減することができ、造形物の表面近傍における強度を向上させることができることが実証できた。

【0054】

<結晶方位制御試験>

次に、再溶融処理が結晶方位及び表面硬さに与える影響を試験的に評価する結晶方位制御試験を行った。結晶方位制御試験における積層工程の条件及び再溶融工程の条件を下表に示す。

【0055】

[表3] 積層工程の条件

項目	単位	数値等
レーザ出力	W	1200
金属粉末供給量	g/min	18
キャリアガス供給量	l/min	6
シールドガス供給量	l/min	4
送り速度	mm/min	1000
積層数	—	50
金属粉末	—	インコネル625

【0056】

[表4] 再溶融工程の条件

項目	単位	数値
レーザ出力	W	1600
送り速度	mm/min	1000
ピッチ幅	mm	3

【0057】

本試験のため、図8に示すような手順で、側面再溶融処理を行った。図8は、結晶方位制御試験のための側面再溶融処理の手順を模式的に示す斜視図である。

図8(a)に示すように、積層物をジグに固定し、ステージを90度回転させて水平から垂直にする。次に、図8(b)に示すように、一方の側面の1ラインにレーザ光を照射して再溶融処理を行い、ステージを180度回転させて、反対の側面の1ラインにもレーザ光を照射して再溶融を行う。次に、図8(b)に示すY方向に、レーザヘッド3mm移動させる。以上のような両側面のレーザ光照射を、両側面全体に再溶融処理が行われるまで繰り返す。

【0058】

上記の手順で両側面に再溶融が施された造形物に対し、エッチング及び薄膜X線解析を用いて、結晶方位を評価した。その後、再溶融した側面に対し、ビッカース硬さ試験を行った。

【0059】

図9は、図8に示すような手順で側面再溶融処理を施した造形物の結晶方位の変化を示す断面エッチング画像である。図9から明らかなように、再溶融されていない領域では結晶の成長方向が縦向きである。一方で、再溶融された領域では成長方向をレーザ照射方向に変化させることができることが実証された。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 は、インコネル 6 2 5 (ニッケル基合金の製品名) からなる面心立方構造を有する造形物における側面再溶融処理による結晶方位の変化を表す薄膜 X 線解析結果を示すグラフである。図 1 0 から明らかなように、両側面にレーザー光を照射して再溶融することにより、(1 1 1) 面及び(2 2 0) 面が減少し、(2 0 0) 面が造形物表面に向いていることが確認できた。金属結晶は温度勾配方向に成長するため、再溶融を行うことで、レーザー照射点の方向に向かって温度勾配が生じ、結晶方位が変化したためだと考えられる。

【 0 0 6 1 】

図 1 1 は、側面再溶融処理による表面硬度の変化を示すグラフである。このグラフでは、3 サンプルの各地点における平均値を表す。側面再溶融処理により、造形物表面のビッカース硬さを最大で 1 7 % 向上することができた。これは、再溶融を行うことで、優れた物性を持つ(2 0 0) 面を造形物表面に向かせたためだと考えられる。

10

以上のように、造形物の両側面に再溶融処理を行い、結晶方位を造形物表面に向かせたことにより、表面硬さの向上が実現できることが実証された。

【 0 0 6 2 】

本発明の実施の形態、実施の態様を説明したが、開示内容は構成の細部において変化してもよく、実施の形態、実施の態様における要素の組合せや順序の変化等は請求された本発明の範囲および思想を逸脱することなく実現し得るものである。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 3 】

20

2 レーザ積層造形装置

1 0 照射部

1 2 レーザ光源装置

1 4 光ファイバ

1 6 光学系

2 0 供給部

2 2 吹出ノズル

2 2 A 流路

2 2 B ヘッド

2 4 供給管

30

2 6 貯蔵部

3 0 ヘッド

4 0 移動機構

4 2 アクチュエータ

5 0 積層物

5 2 上面

5 4 側面

5 6、5 6 A、5 6 B 傾斜面

6 0 被加工物

7 0 制御部

40

S 照射領域

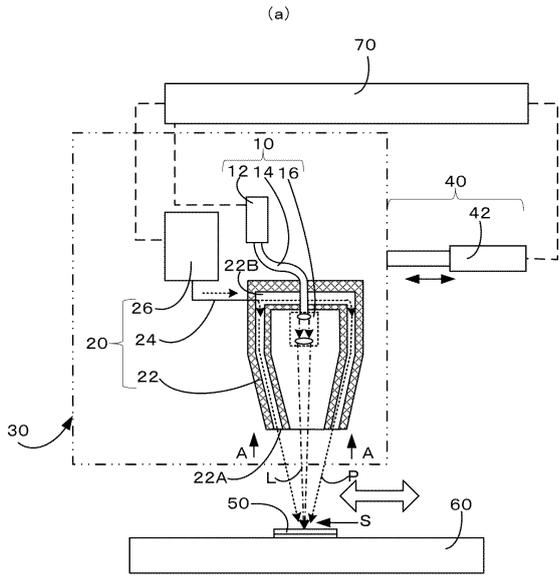
L レーザ光

P 金属粉末

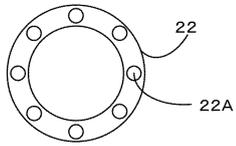
50

【図面】

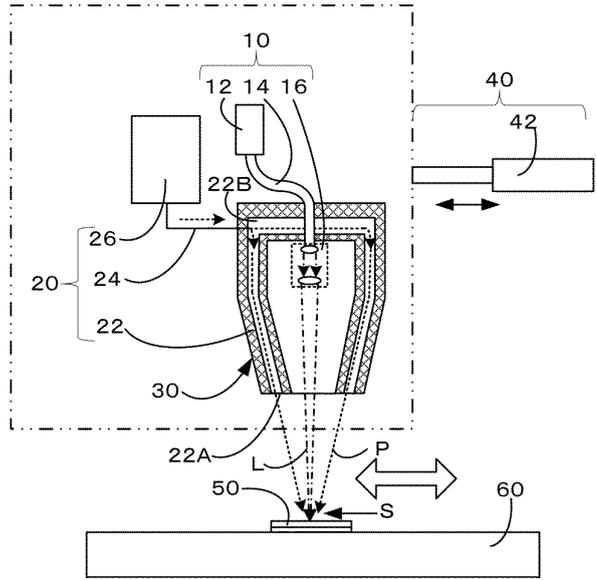
【図 1】



(b)



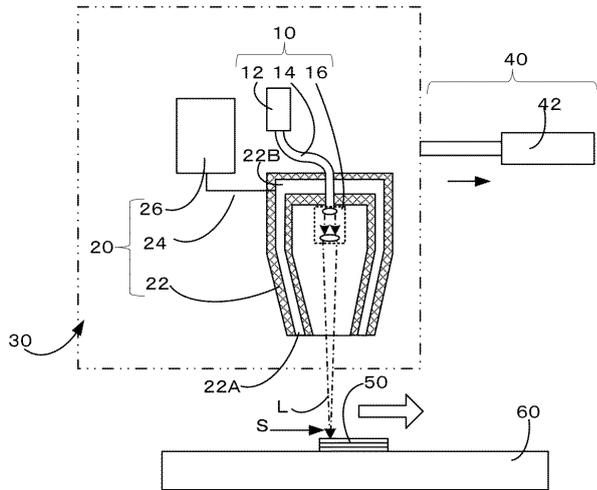
【図 2】



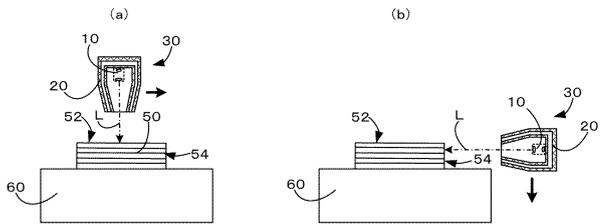
10

20

【図 3】



【図 4】

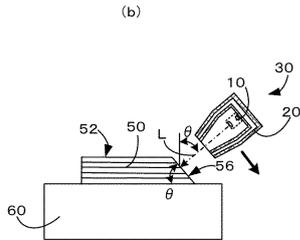
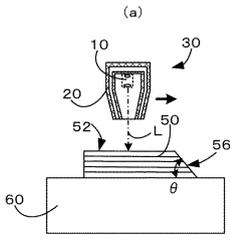


30

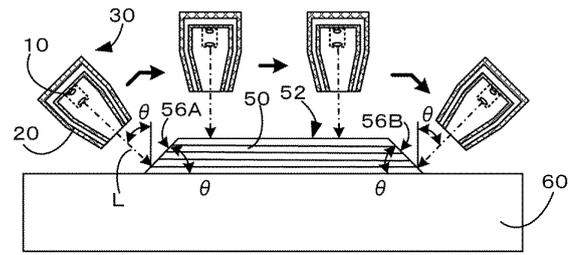
40

50

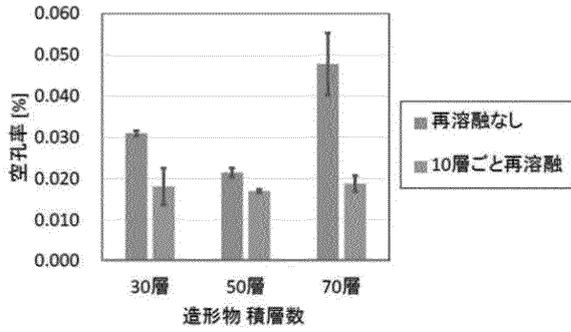
【図5】



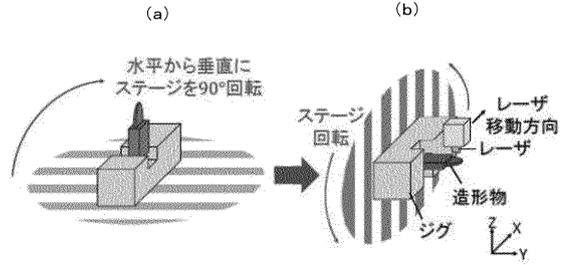
【図6】



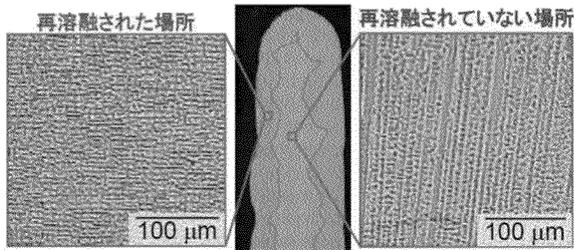
【図7】



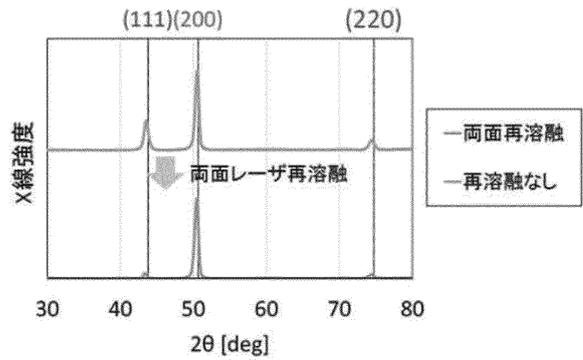
【図8】



【図9】



【図10】



10

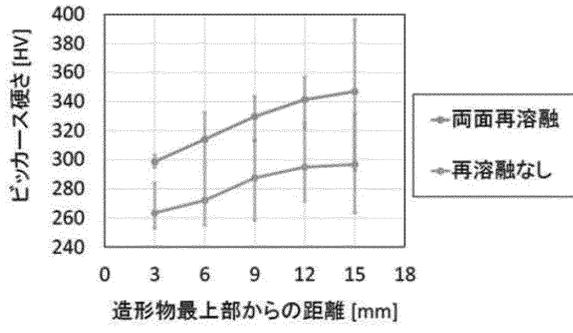
20

30

40

50

【 図 1 1 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

1号 慶應義塾大学 理工学部内

(72)発明者 柿沼 康弘

神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

(72)発明者 青山 藤詞郎

神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内

審査官 藤長 千香子

(56)参考文献

特開2015-178192(JP,A)

特開2007-270227(JP,A)

特開2007-301980(JP,A)

特開2017-019018(JP,A)

特開2002-038201(JP,A)

特開2014-169500(JP,A)

特開2016-102257(JP,A)

国際公開第2016/042810(WO,A1)

特開2015-229802(JP,A)

国際公開第2017/084913(WO,A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B22F 1/00 - 8/00

C22C 1/04 - 1/05

C22C 33/02

B29C 64/00 - 64/40、

67/00 - 67/08、

69/00 - 69/02、

73/00 - 73/34

B29D 1/00 - 7/01

11/00 - 29/10

33/00、99/00

B33Y 10/00, 30/00