

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：82670

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14869

研究課題名（和文）金属積層造形での凝固割れ評価装置の開発と割れ防止造形条件の確立

研究課題名（英文）Development of evaluation device of solidification cracking in metal additive manufacturing and establishment of crack prevention conditions

研究代表者

千葉 浩行（Chiba, Hiroyuki）

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・事業化支援本部技術開発支援部製品化技術グループ・副主任
研究員

研究者番号：30757373

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：金属積層造形最中のレーザー照射によって熔融した金属粉末が凝固する際に発生する凝固割れの発生し易さを評価するための評価装置を開発した。本評価装置を用いることで、凝固割れ発生時の応力およびひずみを取得することができた。また、任意の造形条件で造形する際の凝固割れ発生し易さの評価をした。さらに、本検証時に凝固割れ以外の様々な造形割れの発生を確認した。本研究により、造形品質と造形割れ発生防止が両立する造形条件を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属積層造形の分野において、造形現象を捉える上で、造形中の温度や変形、応力を定量的に評価することは重要である。しかし、金属積層造形で割れが発生する際の亀裂周辺の応力やひずみを測定した例はなく、開発した装置での造形割れ発生時の応力やひずみ取得手法は学術的意義が高い。また、金属積層造形での凝固割れを防止することで、今まで造形時に凝固割れが発生するため使用できなかった粉末材料が使用できるなり、より高付加価値な製品を創出できるようになる。よって、社会的意義も高いと考える。

研究成果の概要（英文）：We have developed a device for evaluating the susceptibility of solidification cracks to occur when metal powder melted by laser irradiation solidifies in metal additive manufacturing. By using this evaluation device, it was possible to obtain stress and strain when solidification cracks occur. In addition, the susceptibility to solidification cracking under arbitrary fabricating conditions was evaluated. In this verification, the occurrence of various cracks other than solidification cracks was also confirmed. This research, we have found fabricating conditions that balance fabricating quality and prevention of fabricating cracks.

研究分野：金属積層造形

キーワード：Additive Manufacturing 金属積層造形 凝固割れ 熱間割れ solidification cracking

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車、航空、医療など幅広い産業分野において、様々な三次元形状を造形できる Additive Manufacturing (AM) 技術が注目されている。特に、金属粉末の溶融・凝固を繰り返しながら 1 層ごと積層させる金属積層造形技術は、切削、鋳造といった従来の加工法では製作不可能な形状を製作することが可能であり、新しい製造の基盤技術として期待されている。金属積層造形は溶融・凝固プロセスであるため、凝固過程に凝固収縮と応力集中で凝固割れがしばしば発生する。凝固割れは、機械的性質を著しく低下させるため、金属積層造形を活用した高付加価値製品開発や金属積層造形の発展、普及の妨げとなる。しかし、鋳造や溶接では、多数の凝固割れに対する研究が実施されているが、金属積層造形における凝固割れに関する研究は少ない。

2. 研究の目的

凝固割れを検証する上で、凝固割れ発生時の凝固過程の金属内部にどのような応力やひずみが発生するかを把握することが重要である。本研究では、金属積層造形最中に凝固割れが発生する臨界値となる固液共存温度域での力学特性を取得する装置を開発する。そして、開発装置を使用して、金属積層造形の凝固割れ感受性評価方法を検討すると共に、凝固割れ耐性の高い造形方法を検討することが目的である。

3. 研究の方法

造形中の固液共存温度域の力学特性取得装置開発にあたっては、造形現象を評価するために作製した自作の造形装置(以下、評価用造形装置)を用いた。評価用造形装置には、高速度ビデオカメラを設置でき、造形時の割れ発生を映像として記録できる。また、同カメラにより、造形時の温度測定も可能である。本研究では、評価用造形装置のビルドプレート部位を図1のように改造した。本改造により、造形中にアクチュエータでの引張荷重の付加、ロードセルによる荷重値の確認を行うことができるようにした。図2に開発装置を用いての力学特性取得手順を説明する。

固定プレートと可動プレートを隣接させた状態で各プレートにまたがる形で造形

モーターで可動プレートを移動させ、プレートに溶着した造形物に引張荷重を付加

引張荷重を付加したまま、1層分の粉末を敷いた後に、引張方向に垂直な方向にレーザースキャンを実施し、発生した割れを高速度ビデオカメラで撮影

レーザースキャン時の粉末の溶融・凝固から割れ発生直前までの映像で亀裂を挟むようにマーカーを設定

映像解析ソフトにより、凝固開始から亀裂発生までのマーカー間距離の変化から破断ひずみを算出

破断応力は、亀裂が発生した時点のロードセルの荷重値から算出

以上の方法から、固液共存温度域での力学特性を取得し、金属積層造形の凝固割れ感受性を評価した。また、粉末材料は 17-4PH ステンレス鋼を使用した。

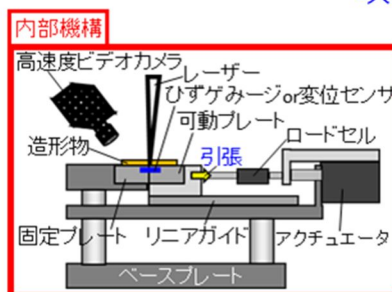
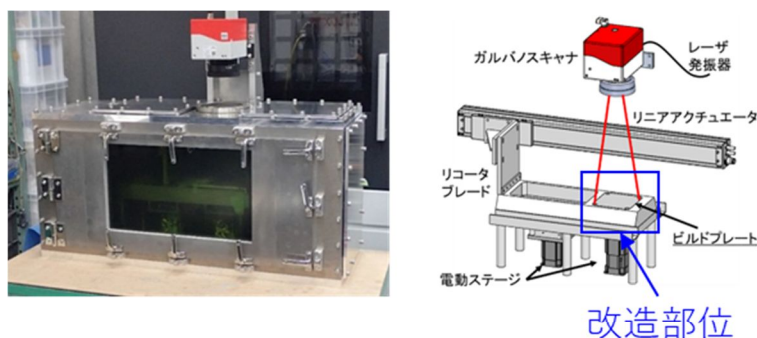


図1 自作造形機の内部改造による装置開発

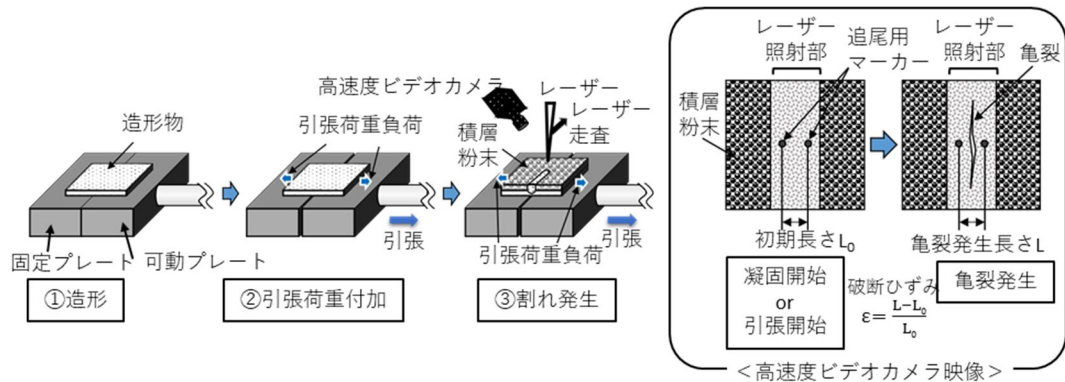


図2 固液共存温度域での力学特性取得方法

4. 研究成果

(1) 固液共存温度域での力学特性取得装置の開発

造形現象を評価するための自作造形装置を改造し、造形中の任意のタイミングで引張荷重を付与できるようにした。図3に造形途中で引張荷重を付与し、造形のためにレーザー照射することで破断が生じる様子を高速ビデオカメラで観察した画像を示す。この画像のように破断する際のロードセル荷重を計測することで、破断応力を算出した。また、画像の破断部位を挟む形で残存する粉末粒子をマーカーにし、破断発生前後のマーカー距離から破断ひずみを求めた。以上のように、固液共存温度域における力学物性を測定できる装置を開発できた。

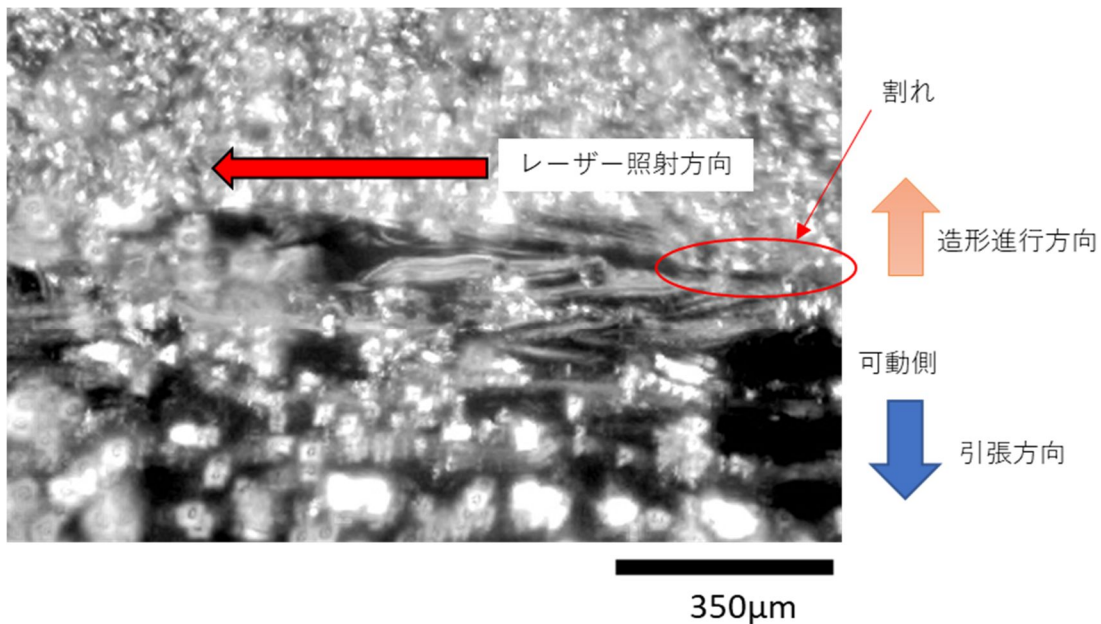


図3 割れ発生時の高速ビデオカメラでの撮影画像

(2) 造形条件による凝固割れ感受性の評価

開発した装置において取得した破断ひずみから溶接や鋳造で凝固割れ感受性評価に用いられる延性曲線取得を試みた。造形中の温度については、二色温度計の計測アルゴリズムを利用して、造形時の高速ビデオカメラの映像を解析し、計測できた温度から割れ発生時の温度を外挿する形で算出した。以上より、金属積層造形時の延性曲線を取得することができた。

また、レーザー走査速度(400~1600mm/s)とレーザー出力(61.3W~270W)を変化させ、破断応力を測定した。その結果、造形条件により破断応力に変化が見られると同時に、割れ発生状況に変化が見られた。エネルギー密度が40J/mm³以下条件では、造形物に引張荷重を与えた時点の固体状態で破断した。これは、レーザー照射エネルギー不足により造形が健全にされておらず、内部に空隙が多数存在したからであった。エネルギー密度62~81J/mm³の条件では、レーザー照射中のビード部で割れが発生した。その時の破断応力は500~583MPaであった。また、エネルギー密度が84~124 J/mm³の条件では、レーザー照射をしたビード部ではなく、その近傍で破断が発生した。この時の破断応力は前述のレーザー照射中のビード部で割れが発生したものと同程度の応力値を示した。このビード近傍での割れは、ビード近傍部がレーザー照射により再加熱さ

れることで発生した割れだと考えられる。これら種々の造形割れは、エネルギー密度の範囲に加え、ビードの重なりが浅い造形条件やビード近傍部での熱影響が大きくなる条件において、発生しやすい傾向にあった。以上のような調査により、17-4PH ステンレス鋼においては、造形品質（表面粗さや内部欠陥等）も考慮した場合、エネルギー密度で $60 \pm 10 \text{J/mm}^3$ の範囲となる造形条件が造形品質と造形割れ耐性のバランスが取れた条件であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------