

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月1日現在

機関番号：13201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656167

研究課題名（和文） レーザーテクスチュアリング法による自己複合化組織の創製

研究課題名（英文） Production of Self-Composite Microstructure by Laser Tailoring

研究代表者

柴柳 敏哉（SHIBAYANAGI TOSHIYA）

富山大学・理工学研究部（工学）・教授

研究者番号：10187411

研究成果の概要（和文）：最大出力 100W クラスのファイバーレーザー発振器とレンズ、ミラーを組み合わせて焦点位置での最小径が $3\mu\text{m}$ 程度の集光能力を有するレーザー局所加熱システムを設計・製作し、それによる A2024-T3 アルミニウム合金板への局所組織制御を試み、レーザー局所熱処理を施すことで同一素材でありながらあたかも複合材料であるかのような力学的異方性を有する素材を創出することに世界で初めて成功した。

研究成果の概要（英文）：The present work firstly succeeded to produce “self-composite microstructure” in an A2024-T3 aluminum alloy sheet utilizing a fiber-laser spot heating system which has been newly designed and developed in my group. The spot heating system generates 100W in maximum power and enables to focus the laser beam into $3\mu\text{m}$ in diameter on the surface of specimen. It also has a function to scan the beam for spot heating with any programmed pattern. A “stripe-like” laser-patterned A2024-T3 aluminum alloy sheet clearly shows anisotropy in bending strength because of the alternative change of soft and hard region produced in the monolithic sheet, which is like a composite material.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	0	1,400,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	450,000	3,350,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：A2024A1 合金、ファイバーレーザー、局所加熱、再結晶、パターンニング、曲げ試験、異方性析出物

1. 研究開始当初の背景

本研究は、任意の局所領域を加熱する機能を有するファイバーレーザー局所加熱システムを用いて時効硬化性金属材料板に軟化領域を

任意の大きさと配列で創り出し、特異な力学特性を付与する材料組織制御技術の開拓の端緒を開こうとするものである。

従来の熱処理は試料全体を均一加熱する組

織制御を専ら主題としてきたが、もともと不均一な組織に対して不均一な温度場を与えて組織制御を実現するという考え方も可能である。研究代表者は数ミクロン径程度の局所領域にエネルギーを集中するレーザ局所加熱技術を開発し、これにより冷間加工した純アルミニウム板の表面近傍領域に100ミクロン径以下の領域にのみ限定的に再結晶粒を創り出すことに世界で初めて成功している。この技術開拓によって我々は局所領域を対象とした熱処理という新しい世界の扉を開くこととなった。

素材の任意の位置・領域にレーザ光を照射してその領域のみ未照射領域とは異なる組織状態を創り出し、これら照射領域パターンによりあかも衣服の織柄のような固体空間を得るという考えをここでは「レーザテクスチュアリング」と呼ぶ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、レーザテクスチュアリングの考え方を熱処理型合金板の組織制御に適用し、時効硬化した素材板にレーザ局所加熱処理を施して軟質領域を所定の配列でパターンニングして力学特性に特異性を持たせた新素材を創り出せることを実証することである。

3. 研究の方法

本研究で用いた供試材は、A2024-T3 アルミニウム合金である。受試材の寸法は供試材 1 が $200 \times 100 \times 1$ mm、供試材 2 は $100 \times 50 \times 5$ mm である。なお、供試材 2 はあらかじめ冷間圧延機を用いて、5mm から 4.5mm、4.5mm から 4.0mm、4.0mm から 3.5mm…と 0.5mm ずつ圧延していき、最終的に 1mm の厚さにした。

レーザ照射は、定格出力 100W、周波数 1076nm の Yb ドープシングルモード CW ファイバーレーザ (YLR-100-SM : IPG 社製) を用いて行った。レーザビームは $f = 250$ mm の集光レンズを用いて試料表面に集光させた。試料表面上におけるレーザビームは直径 $200 \mu\text{m}$ を有する円形である。試料 1 へのレーザ照射は図 1 のように行った。なお、1 スポット照射ごとにレーザビーム径分ステージ移動を行い、この動作を試料の端から端まで繰り返し行った。レーザ出力強度は、1 スポットあたりの照射時間は 1s、3s、5s とした。以上の条件において大気下で実験を行った。レーザ照射後、照射材の断面の組織観察を行い、以後のパターンニング照射に最適な条件を見出した。組織観察で得た最適条件で試料 2 に図 2 のようなパターンで上記と同じようにレーザ照射を行った。

材料の曲げに対する強さや変形を評価するために曲げ試験ならびに引張試験を行った。曲げ試験はレーザ未照射の試料 2、レーザ照

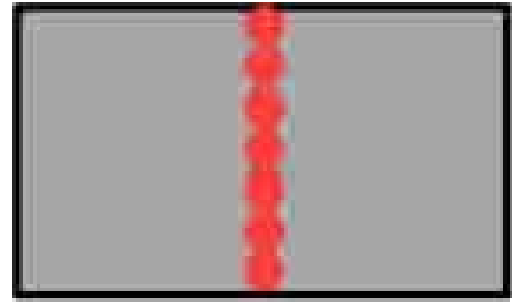
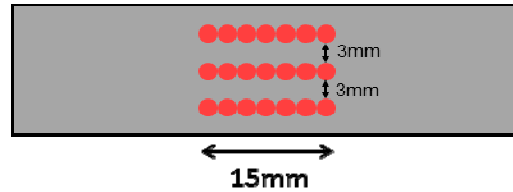
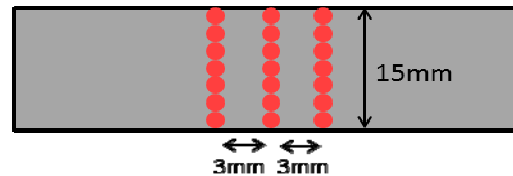


図 1 レーザ照射パターン



(a) パターン 1



(b) パターン 2

図 2 レーザパターンニングの例

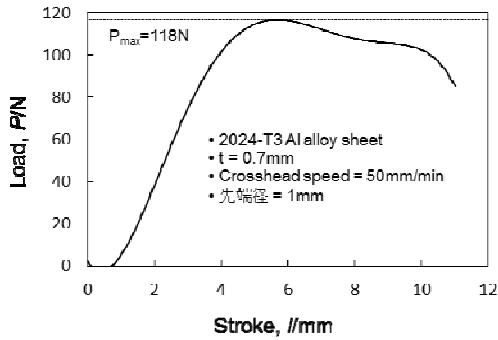
射を施した試料 2 およびソルトバスを 500°C に設定し、1s、3s、5s でそれぞれ溶体化処理を施した試料に対して行った。条件は先端径 $R=1$ mm、ヘッドスピードを $50\text{mm}/\text{min}$ とした。

引張試験片として JIS Z2201 の 13 号を選択し、ソルトバスを 500°C にして 1s、3s、5s でそれぞれ溶体化処理を施した試料に対して行った。条件はヘッドスピード $0.5\text{mm}/\text{min}$ である。

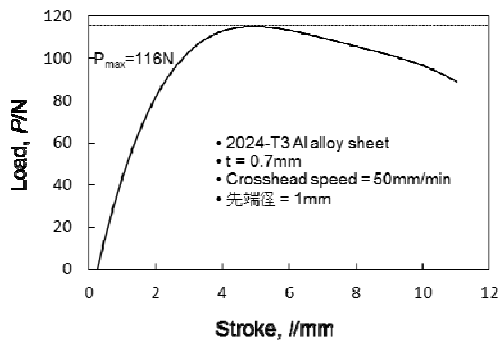
4. 研究成果

(1) レーザ照射領域の大きさ

照射部の熱影響領域は加工組織中に出現する再結晶領域の大きさにより推算したが、試料表面で直径約 $300 \mu\text{m}$ 程度の範囲で、深さ方向には最大深さで $200 \mu\text{m}$ 程度の湾曲した半球領域であることを実験的に確認した。この結果を踏まえて、縞状にビームをスキャンする際の縞間隔を設定し、幅 5mm、長さ 10mm の範囲で数本の縞状のパターンでレーザ照射を施した。なお、連続照射時には熱伝導問題により熔融現象が生ずるため、スポット照射位置をずらしながら擬似的に線上の照射結果と同等の組織を得るようにした。



(a)



(b)

図3 受理材の曲げ試験結果

- (a) 圧延方向に垂直に曲げた場合
(b) 圧延方向に平行に曲げた場合

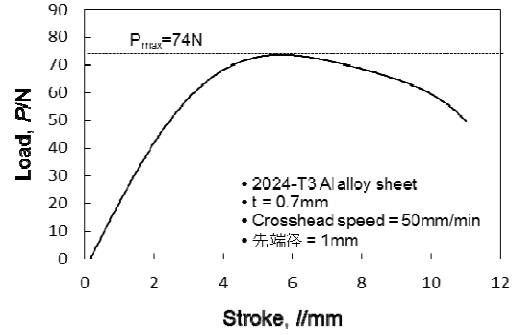
(2) 曲げ試験結果

① 受理材の曲げ試験結果

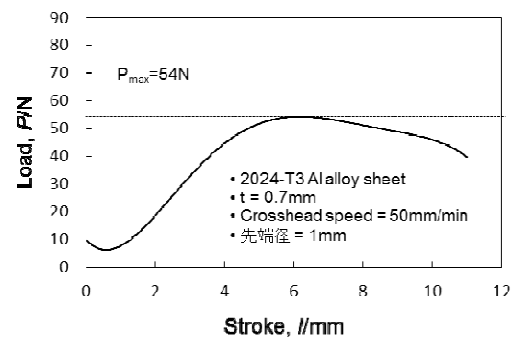
受理材の曲げ試験結果を図3に示す。縦軸は曲げ試験の荷重、横軸はストロークである。曲げ試験は曲げ治具に対して圧延方向が垂直の場合と並行の場合の2パターンについて実験を行った。図3(a)、(b)を比較すると曲げ試験時の最大曲げ荷重に差はなかった。圧延方向による最大曲げ荷重の依存性はないと言える。

② レーザ照射材の曲げ試験結果

ビーム径 200 μm 、出力 35W、照射時間 1s におけるパターンニング照射材の曲げ試験結果を図4に示す。縦軸は曲げ試験の荷重、横軸はストロークである。パターン1の結果は図4(a)より、最大曲げ荷重が 74N となった。これに対してパターン2の結果は図4(b)より、最大曲げ荷重が 54N となった。この曲げ試験は各パターンについて3回ずつ実施したがいずれの場合もパターン1の方がパターン2の照射材よりも曲げ荷重が大きくなる結果を得た。これらの結果より、パターン1よりパターン2の方が曲げ試験時の最大曲げ荷重が低いことが明らかである。



(a)



(b)

図4 レーザ照射材の曲げ試験結果

- (c) 圧延方向に垂直に曲げた場合
(d) 圧延方向に平行に曲げた場合

(3) 異方性の定量的検討

すべての結果で受理材よりも最大曲げ荷重は低下していた。最大曲げ荷重の低下の原因として局所的な溶体化が起きて軟質化したと考える。受理材とパターン1およびパターン2の処理材の比較グラフを図5に示す。図5より、パターン1よりパターン2のほうが受理材に比べ最大曲げ荷重が低くなっているのが見てとれる。これは、パターン1は曲げ試験治具に対して垂直にレーザー照射を、パターン2は平行にレーザー照射をそれぞれ行っており、軟質領域のでき方が違うために生まれたものだと考えている。

これを証明するために複合則による計算を行った。パターン1では、

$$E_c = fE_f + (1-f)E_m$$

の式を、

パターン2では、

$$E_c = \frac{E_f E_m}{fE_m + E_f(1-f)}$$

の式をそれぞれ用いた。

ここで、 E_c は巨視的弾性係数、 f はレーザー照射による熱影響面積含有率、 E_f は処理材の

最大曲げ荷重、 E_m は受理材の最大曲げ荷重で、 E_c が小さいほど変形しやすいことを表す。

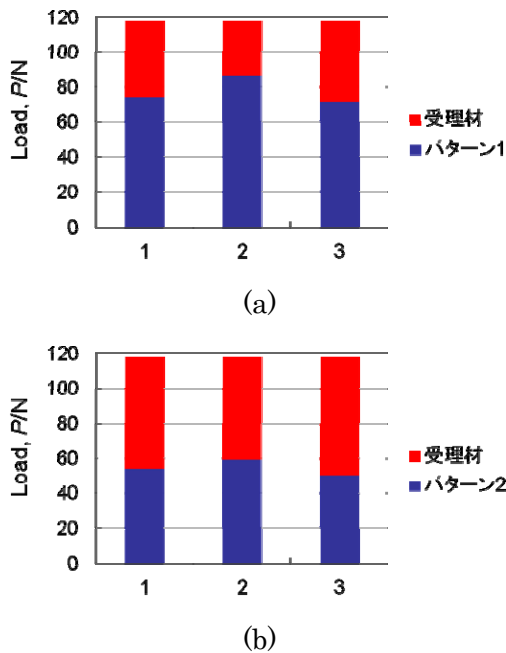


図5 受理材と各パターン処理材の最大曲げ荷重の比較
(a) パターン1 処理材との比較結果
(b) パターン2 処理材との比較結果

パターン1の計算結果は $E_c=114.3$ 、パターン2は $E_c=105.2$ となった。この結果よりパターン1よりパターン2の方が変形するために

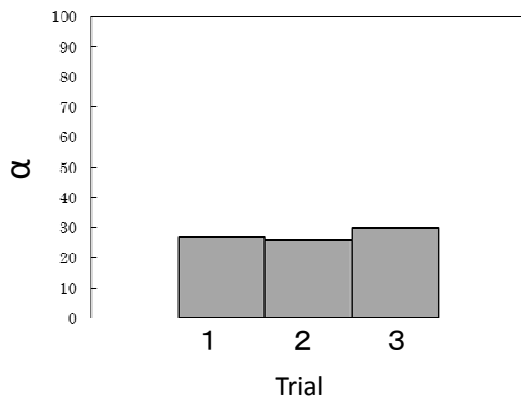


図6 3回実施した曲げ試験結果より算出した異方性パラメータ

必要な荷重は少なく済むことが証明された。

次に、曲げ試験時の最大曲げ荷重の測定値よりレーザーパターンニング処理材の異方性を定量評価した結果を説明する。

図6に異方性パラメータを示す。異方性パラメータ(α)は

{1 - (パターン1の最大曲げ荷重/パターン2の最大曲げ荷重)} × 100

と定義した。

異方性パラメータは100に近づくほど異方性が高い。図6より、すべての場合で25%程の変化があったのが明らかで、描くパターンを変えることにより、25%程度の変化を出せることが確認できた。また、これらの結果に大きな違いが見られないことからレーザーによる異方性材料の創成は再現性があり、有効であると考えられる。

(4) レーザテクスチュアリング法の将来展望

将来的には様々なパターンを描くことにより、それぞれの目的に合った異方性材料を作ることができる。また、レーザーピーニングと組み合わせることにより単一素材に硬質領域と軟質領域を自由に作ることができる。それによりテーラードブランク法で行っていることを単一素材で行うことができる。

テーラードブランク法とは、複数の異なる板厚・材質および表面処理の有無の鋼板を溶接して一体化する技術を言う。テーラードブランクにより、1枚の素材の特性を部分的に変えることができるとともに、部品点数の削減も期待できる。

しかしながら、テーラードブランク法はリサイクル性に問題があるが、本研究で開発したレーザーテクスチュアリング法は元来同一素材であるためリサイクル性にはなんら問題がないので、本法の有用性を活かした新素材開発とそれに関連する新産業創出が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

塚本雅裕, 刀根大輔, 柴柳敏哉, 本越伸二, 藤田正之, 阿部信行, 周期構造形成しきい値近傍領域における短パルスレーザー照射による金属材料の表面形状変化、レーザー研究、査読有、39巻(2011)、706-710。

〔学会発表〕(計2件)

奥田達哉, 中野人志, 井口 悠, 柴柳敏哉, 塚本雅裕, 阿部信行, レーザー加熱法によるA2024 アルミニウム合金の局所組織制御、軽金属学会関西支部研究会、2011.12.10、関西大学

奥田達哉, 柴柳敏哉, 塚本雅裕, 刀根大輔, 阿部信行, レーザー加熱法によるA2024 アルミニウム合金の局所組織制御、第31回レーザー学会、2012.2.1、TKP仙台カンファレンスセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴柳 敏哉 (SHIBAYANAGI TOSHIYA)

富山大学・理工学研究部(工学)・教授

研究者番号: 10187411

(平成 24 年 3 月 1 日付で大阪大学・接合
科学研究所・准教授より異動)

(2) 研究分担者

塚本 雅裕 (TSUKAMOTO MASAHIRO)
大阪大学・接合科学研究所・准教授
研究者番号：90273713