

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 20 日現在

機関番号：12604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24658154

研究課題名(和文) 高速摩擦によるコーティング層生成技術の開発と木材表面の耐水制御・セラミックス化

研究課題名(英文) Development of the technology of producing coated layer by high-speed friction in order to control the water repellency and produce ceramics layer in wood surface

研究代表者

大谷 忠(Ohtani, Tadashi)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：80314615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は平滑な表面を持つ工具を用いて木材表面を高速摩擦し、木材表面に付与される耐水制御およびセラミックス化について検討した。その結果、木材の表層1mm以下の範囲において、高速摩擦による熱的作用および機械的作用を受けたコーティング層を生成することが生成できた。その表層は、塗装した木材表面と同程度の撥水性を有しており、表層部のみ改質によって、木材表面に新たな機能が付与できることがわかった。さらに、高速摩擦条件における木材中の温度変化を調べることにより、木材への圧力条件が温度変化に依存しており、その圧力条件を制御することにより、木材中の温度を高温状態まで制御できる可能性があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：This study was investigated on the water repellency and producing ceramics layer of modified surface under the wood surface was rubbed by high-speed friction on the tools with smooth surface. The result indicated that the coated layer affected by the thermal and mechanical actions on the high-speed friction could be produced in the range of 1mm from wood surface. Such modified surface layer also provided the water repellency same as painted wood surface. Furthermore, the change of the wood temperature under the high-speed friction depended on the surface applied pressure. The results classified that the controlling the applied pressure might be possible to control the wood temperature up to the high thermal condition.

研究分野：木材加工学

キーワード：高速摩擦 木材表面 撥水性 平滑化

1. 研究開始当初の背景

材料同士が摩擦する界面では、微小な凹凸が多く存在するため、実際に接触している部分は少ない。そのような真実接触部分では非常に大きなエネルギーが発生する。高エネルギーの界面では、原子や分子レベルの移着現象が起こることが知られており、金属同士の摩擦を利用した「摩擦攪拌接合」等に、異物の転写が応用されている。

一方、木材の表面を摩擦加工する研究は、微小振動によって木材同士を摩擦・溶着させる研究や木材と金属の摩擦によって生じる基礎的特性等を調べた成果が報告されている。また、木材の表層を改質する研究には、木材の表面組織を圧縮し、表面の細胞構造を圧密化させることによって、バルクの体積率を上げ、硬度を向上させることを目的とした研究等が報告されている。

以上の研究では、木材を摩擦し木材同士を接着させる用途や木材表面への圧縮の作用によって表面硬度を高める用途等に摩擦の利用が限られている。そのため、摩擦の作用がもつ微小な凹凸表面の機械的作用や摩擦熱の作用等を最大限に利用して、表面のわずかな層に新しい機能性を付与するようなコーティング層を生成しようとする研究等は見当たらない。さらに、この時の摩擦する技術に視点を当て、摩擦する材料の表面凹凸の形状や表面の成分を摩擦される方に転写する加工法等について検討した研究は行われていない。

そこで、本研究グループでは、木材表面におけるナノレベルの改質に視点を当て、トライボロジーの理論(摩擦、潤滑等の接触理論)を用いて、木材表面に機能性を付与するためのコーティング層を生成する技術について検討することを研究の背景とした。

2. 研究の目的

(1)本研究は、当初、木材表面を高速摩擦することによって、ナノレベルの組織まで改質できるコーティング層の生成技術を開発することを目的とした。その開発のための詳細な目的として3つの目的を設定した。

表面の撥水効果を塗装面の2倍以上に高めるコーティング層を作ることを第一の目的とした。

高速回転する工具から、熱硬化性樹脂を転写させることによって、異物の転写を利用した摩擦加工を実現し、表層のみセラミックス化した木材を開発することを第二の目的とした。

セラミックス化の技術を応用することで、導体・半導体化したコーティング層に発展させることを第三の目的とした。

上記の当初設定した目的に沿って研究を実施する予定であったが、上記 およびに関する研究を実施していく過程において新たな発見があり、そのため、当初の計画を一部修正し、研究を遂行した。

(2)本研究を遂行していく過程において、高速摩擦により生成したコーティング層がより平滑であるほど撥水性を示すことがわかった。そのため、工具の形状を転写することによって木材表面状態を制御し、さらなる撥水性を付与することを目指した。具体的には以下の新たな目的を設定した。

高速摩擦に使用する工具表面の凹凸状態と摩擦後の木材表面の凹凸状態の関係を明らかにし、超平滑な木材表面を生成することを第一の目的とした。

超平滑な木材表面に対して機能性を検証し、新たな機能性を表面に持った木材を開発することを第二の目的とした。

3. 研究の方法

(1)当初設定した目的に沿って、高速で木材表面を摩擦できる実験装置を設計・製作し、木材表面を高速摩擦し、表面に摩擦の作用によって改質されたコーティング層の生成を行った。コーティング層の生成の目的は、表面に親水性・撥水性を付与させ、これらの性質を制御する研究と改質した層をセラミックス化する研究を実施した。具体的には以下のような方法により研究を実施した。

コーティング層の親水性・撥水性の制御に関する研究は、研究開始当初までに得られていた成果を踏まえて、平滑な金属工具表面で木材表面を高速摩擦し、木材表面に改質に伴うコーティング層を生成させた。生成したコーティング層に対して、水滴を滴下する液滴法により、水滴と木材表面とのなす角を計測して、水滴接触角を評価した。

木材表面のセラミックス化に向けた研究は、既存の高速摩擦実験装置を改良し、より高速条件で実験ができる装置を試作した。また、セラミックス化に向けて木材温度を制御する必要があるため、高速摩擦条件下における木材温度を、赤外線サーモグラフィを用いて調べた。

(2)工具の凹凸形状を転写することによって木材表面の状態を制御し、機能性を付与する研究に関しては、以下の方法により研究を実施した。

様々な表面の凹凸状態を持つ金属工具を用いて、高速摩擦実験を行った。摩擦後の木材表面は、FE-SEM等による微細組織の観察、表面粗さ計による形状評価によって、木材表面の凹凸状態を評価した。

工具表面から木材表面への摩擦に伴う凹凸形状の転写性について検討し、より平滑な木材表面を生成するための高速摩擦実験を実施した。

4. 研究成果

(1)スプルー材と金属工具を用いた高速摩擦実験を行い、摩擦後の木材表層は、摩擦による熱的作用および工具表面の凹凸で押し

付けられた機械的作用によって、表層部の組織が圧密化され、熱的作用を受けた改質層が生成できた。このような木材表面は、摩擦した表面から 1mm 以下の範囲内において、改質されていた。そこで、本研究では、高速摩擦による熱的作用と機械的作用を受け改質された木材表面を、コーティング層と定義し、その表面の評価を行った。

(2) スプルースの気乾材を使用し、木材表面を平滑な金属表面で高速摩擦することによりコーティング層の生成を行った。摩擦後のコーティング層表面において、液滴法による水滴接触角を測定した。図 1 に無処理の木材表面と高速摩擦後の表面における水滴接触角の測定結果を示す。この結果から、高速摩擦後の表面は、無処理の木材と比較して、8 倍以上の撥水性を示すことがわかった。

図 2 に木材の塗装として一般的に使用されるウレタン塗装を行った木材表面との比較結果を示す。この結果から、高速摩擦後の表面は塗装した木材表面と同程度の撥水性を有していることがわかった。また、高速摩擦を行った表面に塗装を行うことで、より塗装の効果を高める可能性が示唆された。さらに、表面の平滑性を高めた金属工具で高速摩擦することによって、摩擦後の木材表面における撥水性が向上することわかった。

当初目的とした高速摩擦により塗装効果の 2 倍まで撥水性を高めるまでには至らなかった。しかし、より平滑なコーティング層表

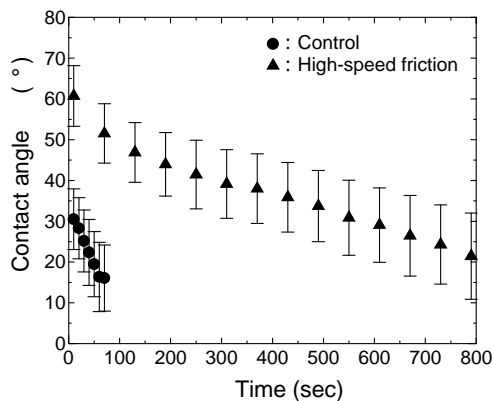


図 1 高速摩擦後の木材表面における水滴接触角の変化

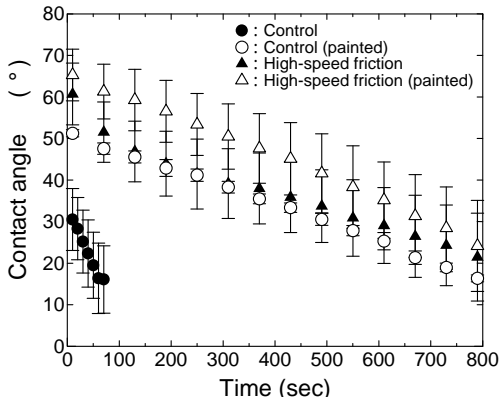


図 2 塗装した木材表面における水滴接触角の変化

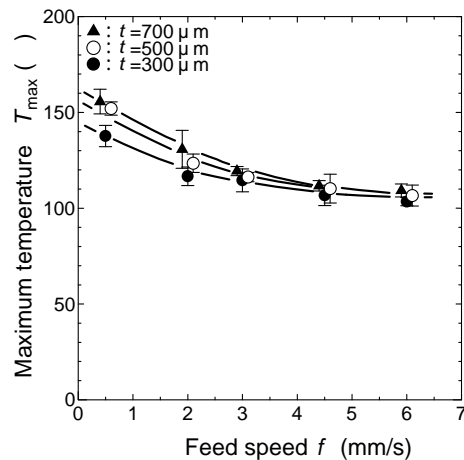


図 3 異なる圧下量における送り速度と高速摩擦時の最高温度の関係

面であるほど撥水性が向上する結果が得られたため、この知見を活かすことで、さらに高い撥水性を実現できる可能性があることも示唆された。

(3) コーティング層のセラミック化に向けた研究として、既存の高速摩擦実験装置を改良し、より高速回転条件で摩擦実験ができる装置を試作した。また、セラミック化を実現するためには、より高速摩擦条件にした時に発生する熱によって、付与される木材中の温度変化が重要な要素になると考えられる。そこで、高速摩擦条件下における木材温度を、赤外線サーモグラフィを用いて調べた。

高速摩擦の条件として、木材試験片の送り速度 f 、工具を木材試験片へ押し付ける圧下量 t 、を設定した。図 3 に工具回転数が一定条件とし、送り速度と圧下量が異なる条件における高速摩擦時の最高温度 T_{max} を測定した結果を示す。

この結果から、高速摩擦時における木材温度は、送り速度および圧下量の影響を受けて変化することがわかった。そこで、摩擦条件において熱の影響を及ぼす因子に関して検討を行った。圧下量および送り速度の摩擦条件を変えることは、木材試験片を工具へ押し付ける力を変えることであると考えられる。そこで、高速摩擦時の試験片に作用する圧力 P を測定し、圧下量および送り速度の変化によって影響する押し付け圧力 P の因子を取り上げ、送り速度 f 、工具の回転速度 R との関係について調べた。

図 4 に異なる圧下量の条件で摩擦した時、木材中の最高温度 T_{max} と P 、 f 、および R で表される摩擦条件との関係を示す。ここで、横軸における PR/f の値は、工具一回転あたりの木材の送り量が f/R で表されるので、 f/R の条件において作用する圧力を意味している。この結果から、 T_{max} の値は、 PR/f の値が増加するに従って、ほぼ直線的に増加することがわかった。

以上の結果から、高速摩擦条件下における

木材の温度変化は、木材と工具が接触する圧力条件の因子によって、一義的に表されることが明らかとなった。

これらの知見を活かすことで、木材の温度を制御し、高速摩擦によってコーティング層のセラミックス化を行うことができる可能性がある。

(4) 表面が異なる凹凸形状の金属工具を用いてスプルス材の高速摩擦実験を行った。摩擦後のコーティング層表面は、FE-SEM等による微細組織の観察、表面粗さ計による形状評価によって、コーティング層表面の凹凸状態を評価した。

図5に高速摩擦前後における木材表面および表面プロファイルの変化を示す。この結果から、高速摩擦後のコーティング層表面は、木材特有の細胞壁による凹凸構造が確認できない状態にまで平滑になることがわかった。さらに、表面プロファイルに規則的な凹凸があり、高速摩擦に使用する工具形状が転写されていることが観察できた。

(4) 工具表面と摩擦後のコーティング層表面における形状の転写性について検討し、より平滑な表面を生成するために、鏡面仕上げを行った表面を持つ工具を用いて、高速摩擦実験を実施した。

その結果、摩擦後におけるコーティング層表面の算術平均粗さ Ra は、 $1\mu\text{m}$ を下回る状態にまで平滑化されることがわかった。本

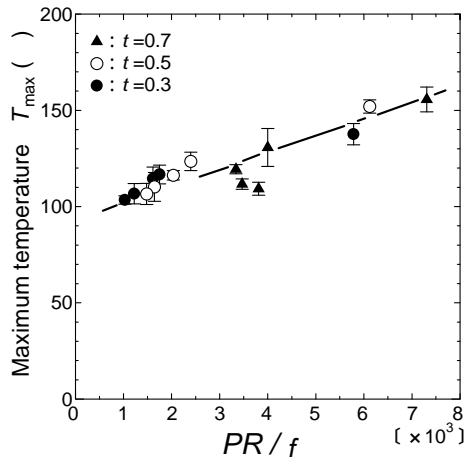


図4 圧力条件の因子と高速摩擦時の最高温度の関係

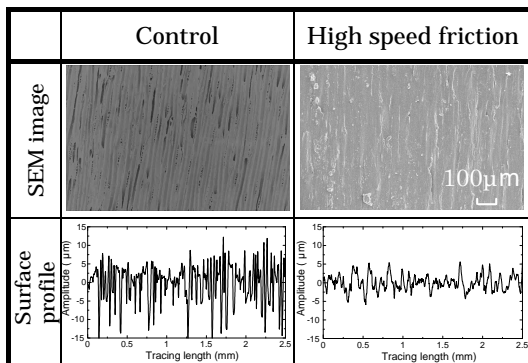


図5 高速摩擦による木材表面の変化

実験で得られた木材表面は、既存の一般的な木材加工技術である切削加工や研削加工では生成できない、超平滑な表面であることがわかった。さらに、この時の表面を高倍率で観察した結果、ナノレベルの組織まで平滑化されている様子が観察できた。

以上の結果から、高速摩擦によるコーティング層の生成技術は、既存の木材加工技術には実現できない平滑化処理を行うことが可能であり、さらに形状の転写を利用することによって、さらなる機能性を付与できる可能性をもっていることも明らかになった。今後のさらなる検討が課題となる。

(5) 本研究に掲げた木材表面のセラミックス化を実現するためには、さらなる検討が必要であることが明らかになったため、研究の方向をさらに変更し、高速摩擦によって生成されたコーティング層を活用する研究を新たに実施した。本研究では、コーティング層にカーボン蒸着を行うことで更なる機能性の付与を検討した。カーボン蒸着のみを行った木材表面と高速摩擦によりコーティング層を生成した表面にカーボン蒸着を行った木材表面において水滴接触角の評価を行った。

その結果、初期の接触角は、カーボン蒸着のみを行った木材表面の方が大きい値を示した。しかし、水滴滴下後の時間が経過するにしたがって、その差は徐々に縮まった。以上の結果から、高速摩擦によって生成されたコーティング層は、木材表面を平滑・緻密化し、欠点を減少させたことによりカーボン蒸着の膜が均質化したためと考えられた。このことから、高速摩擦によるコーティング層の生成とカーボン蒸着の組み合わせは長期の撥水性を向上する効果があると考えられた。

(6) 以上の(1)-(5)の結果から、本研究では高速摩擦の現象を利用することにより、木材表面にコーティング層を生成する技術を開発し、さらに木材表面を耐水制御・セラミックス化することを目指した。その結果、木材の表層1mm以下の範囲において、高速摩擦による熱的作用および機械的作用を受けたコーティング層を生成させることができた。また、その表層は、塗装した木材表面と同程度の撥水性を有していた。さらに、高速摩擦条時の木材温度が圧力条件に依存することを明らかにし、形状転写によって超平滑な木材表面を生成させることができた。本研究におけるコーティング層生成技術を応用し、カーボン蒸着によりさらなる機能性が付与できる可能性も示された。一方、当初目的として設定したコーティング層のセラミックス化の実現にはさらなる検討が必要であり、本研究期間内ではその実現には至らなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

R.Lida, T.Ohtani, T.Nakai, K.Adachi,
Changes in wood temperature under
high-speed friction, Journal of Wood
Science, 査読有, 60巻5号, 2014, 313-320
DOI: 10.1007/s10086-014-1412-4

〔学会発表〕(計13件)

飯田隆二, 高速摩擦による木材表面への凹
凸形状の転写性, 日本木材学会, 2015年3
月17-18日, 「タワーホール船堀(東京都・
江戸川区)」

山田兼寛, アモルファスカーボンコーティ
ングによる木材の表面改質, 日本木材学会,
2015年3月17-18日, 「タワーホール船堀(東
京都・江戸川区)」

R.Lida, Effect of smoother processing on
wood surface layer by shape transcription
in high-speed friction, 日本MRS, 2014年
12月10-12日, 「横浜市開港記念会館ほか(神
奈川県・横浜市)」

K.Adachi, Surface modification of wood
by high-speed friction and vapor deposition
techniques, 日本MRS, 2014年12月10-12
日, 「横浜市開港記念会館ほか(神奈川県・
横浜市)」

飯田隆二, 高速摩擦による木材表面の平滑
化技術, 日本木材加工技術協会, 2014年10
月29-30日, 「秋田ビューホテル(秋田県・
秋田市)」

R.Lida, Processing of ultra-smoothing on
wood with densified surface layer by
high-speed friction, IUMRS2014, 2014年8
月24-30日, 「福岡大学(福岡県・福岡市)」

飯田隆二, 高速摩擦による木材表面の平滑
化处理における形状転写性, 日本木材学会,
2014年3月13-15日, 「愛媛大学(愛媛県・
松山市)」

飯田隆二, 高速摩擦を利用した木材表面の
超平滑化处理, 日本木材学会, 2014年3月
13-15日, 「愛媛大学(愛媛県・松山市)」

R.Lida, smoother processing treatment
on wood surface by using the transcription
technology of high speed friction, 日本
MRS, 2013年12月9-11日, 「横浜市加工記
念会館(神奈川県・横浜市)」

R.Lida, Evaluation of thermal influence
on tool and wood affected by high speed
friction, International wood machining
seminar, 2013年8月4-7日, 「EPOCHAL
TSUKUBA(茨城県・つくば市)」

飯田隆二, 高速摩擦条件下における工具と
木材の温度変化, 日本木材学会
, 2013年3月28日, 「岩手大学(岩手県・
盛岡市)」

T.Ohtani, the effect and treatment of
wood surface processing by utilizing
friction on high speed revolution, 日本MRS,
2012年9月21日「横浜ワールドポーターズ

(神奈川県・横浜市)」

飯田隆二, 高速摩擦を利用した木材表面の
コーティング層の生成技術, 日本材料学会,
2012年5月27日, 「岡山大学(岡山県・岡
山市)」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大谷 忠(OHTANI, Tadashi)
東京学芸大学・教育学部・准教授
研究者番号: 80314615

(2) 研究分担者

中井 毅尚(NAKAI, Takahisa)
島根大学・大学院総合理工学研究科・准教
授
研究者番号: 90314616

足立 幸司(ADACHI, Koji)

秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教
授
研究者番号: 70451838

(3) 研究協力者

飯田 隆一
山田 兼寛