

フェノール樹脂炭化構造の摩擦特性への影響

Effect of Carbonized Structure of Phenolic Resin on Friction Properties

兵庫県大・工（学）*辻 大雅 兵庫県大・工（正）松本 直浩

兵庫県大・工（正）田中芹奈 兵庫県大・工（正）木之下 博

Taiga Tsuji*, Naohiro Matsumoto *, Serina Tanaka *, Hiroshi Kinoshita*

*University of Hyogo

1. はじめに

機械システムの運動には摩擦が不可欠であり、その適切な制御は依然として重要な課題である。特に省エネルギー化や機械の長寿命化の観点からは、低摩擦性と耐摩耗性の両立が求められている。航空機エンジンなどの高温環境下では、一般的な潤滑剤の使用が困難であり、耐熱性のある固体潤滑材料の開発が求められている。グラファイトは、層状構造に由来する優れた低摩擦性を持つが、せん断により層構造が崩れやすく、耐久性に課題がある。

フェノール樹脂などの有機材料を高温で炭化させた炭素材料は、完全なグラファイトには至らないものの、熱処理条件により層状の炭素構造を部分的に形成し、その特性が変化することが知られている。このような炭素材料はアモルファス炭素や乱層グラファイトと呼ばれ、構造の緻密さや秩序性が摩擦や摩耗に影響するものと考えられる。そこで本研究では、成形性に優れる樹脂の中でも、炭化後の残炭率が高いフェノール樹脂を炭素材料の前駆体として用い、異なる温度で炭化した際の構造変化および摩擦・摩耗特性への影響を調査した。

2. 実験

原料には DIC 製の液状フェノール樹脂 5900 を用いた。基板として使用した SUS304 は、表面の汚れや油分を除去するためにエタノール中で超音波洗浄を 5 分間実施し、乾燥させた後に使用した。フェノール樹脂をスポットを用いて基板上に約 0.3 g 滴下し、均一に広がるように静置した後、ホットプレート上で 100°C、2 時間の予熱処理を行った後、150°C、2 時間の加熱を行い、フェノール樹脂を硬化させた。最終的に、硬化した樹脂を不活性雰囲気中で加熱することで炭化させることでサンプルを作製した。炭化後の樹脂は、Figure 1 に示すように、外観が褐色から黒色へと変化していることが観察された。サンプルの化学構造は、FTIR およびラマン分光法を用いて評価した。

摩擦試験は、Figure 2 に示すピンオンプレート型の往復摩擦試験機を用いて実施した。ピンには直径 2 mm の SUS304 製球を用い、荷重 1 N、回転速度 300 rpm、撓動振幅 2.5 mm、撓動回数 18,000 回という条件で、乾燥環境下にて行った。摩擦係数は、各試験条件での再現性を確認するため 3 回ずつ繰り返し試験を行い、得られた摩擦係数の平均値および標準誤差を評価した。摩耗体積は倍率 20 倍のレーザー顕微鏡を用いて撓動痕の断面プロファイルを 3 か所取得し、得られた平均断面積を用いて算出した。

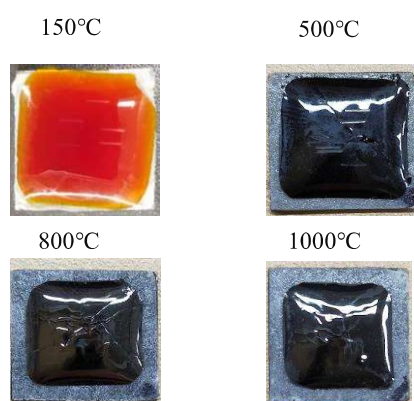


Fig.1 Friction samples

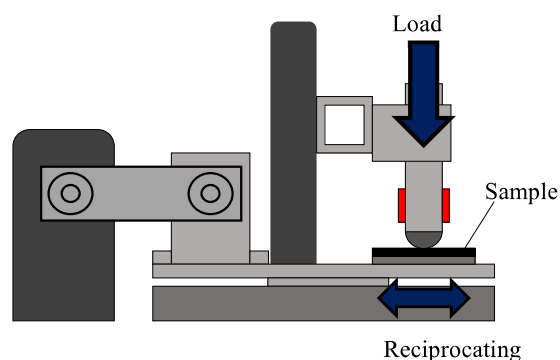


Fig.2 Reciprocating sliding friction tester

3. 結果と考察

フェノール樹脂を異なる温度で炭化処理した試料に対し、摩擦試験を実施した結果を Figure 3 および Figure 4 に示す。Fig.3 より、炭化温度が高くなるにつれて摩耗痕の幅が小さくなり、摩耗量が減少していることが確認された。特に 800°C 以上の処理試料では摩耗量が大幅に抑えられており、炭化処理温度の上昇による耐摩耗性の向上が顕著に現

れることが分かり、500℃処理試料と比較して800℃処理試料では、摩耗量が約86%低減した。

摩擦サンプルのFTIR分析結果をFigure 5に示す。加熱温度の上昇に伴い、フェノール樹脂の官能基の段階的な脱離と、芳香環構造の成長が示された。3300 cm⁻¹付近のOH基、2900 cm⁻¹付近のCH基、および1100–1300 cm⁻¹のC–O結合に由来するピークは、500～800℃の熱処理によって急激に減少または消失し、芳香環間の直接的な縮合反応が進行したことが示唆された。特に800℃以上では、芳香環同士の結合によって平面性の高い層状構造が発達し、炭素構造の緻密化と部分的な秩序化が顕著に進行したと考えられる。さらに、Figure 6に示すマイクロビッカース硬度試験の結果においても、処理温度の上昇に伴う硬度の増加が確認された。特に800℃まで加熱温度を上昇させることで、その変化は顕著であった。

これらの結果を総合すると、フェノール樹脂を高温で炭化処理することにより、樹脂中に存在していたヒドロキシ基やメチレン架橋といった官能基が熱分解によって除去され、芳香環同士の縮合反応を通じて新たな炭素構造が形成されたと考えられる。特に800℃以上の処理では、芳香環が互いに結合することで、平面性と連続性を持つ層状構造が部分的に内部で発達し、これに伴って炭素骨格の高密度化および部分的な秩序化が顕著に進行したと推察される。

このような炭素構造の進展は、マイクロビッカース硬度の上昇に直接的に寄与しており、炭素骨格の強化と構造の緻密化によって、外部荷重に対する抵抗力が増大したと解釈できる。また、摩擦試験においても、炭化処理温度の上昇に伴って摩擦係数の低下および摩耗痕の縮小が顕著に現れており、これらは材料表面における炭素網面の発達と、それによる優れた摺動特性の発現を示している。

4. 結論

本研究では、フェノール樹脂を前駆体とする炭素材料に対し、炭化処理温度による、摩擦・摩耗特性および構造への影響を評価した。FTIRスペクトルおよび硬度試験の結果から、処理温度の上昇に伴い官能基の脱離が進行し、芳香環の縮合を通じて炭素構造の高密度化および秩序化が進むことが確認された。その結果、800℃以上で処理した試料では、硬度の向上に加えて、摩擦係数の低下および優れた耐摩耗性が得られた。今後は、より高温域での処理による炭素構造と摩擦特性の関係の調査を進める。

文献

- 1) 船引・中村・釣谷, “フェノール樹脂の炭素化”, 「熱硬化性樹脂」2, 4 (1981) 36.

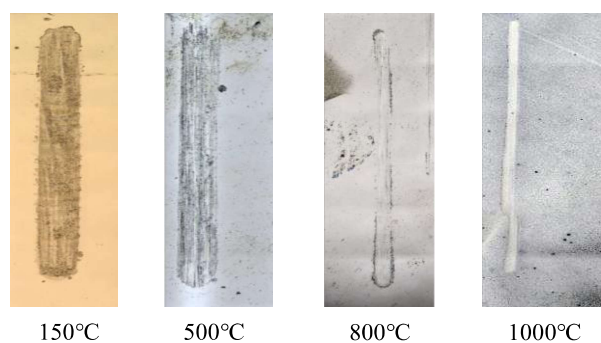


Fig.3 Wear scars after friction tests

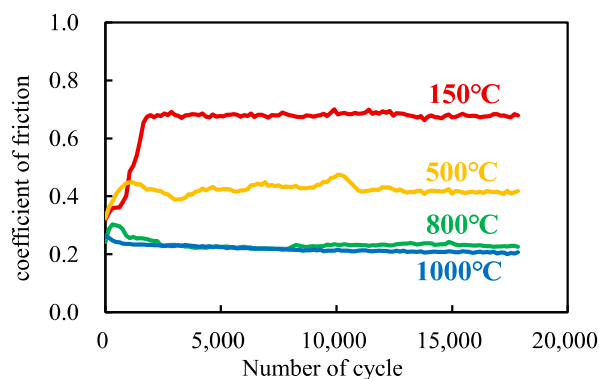


Fig.4 Transitions of coefficient of friction

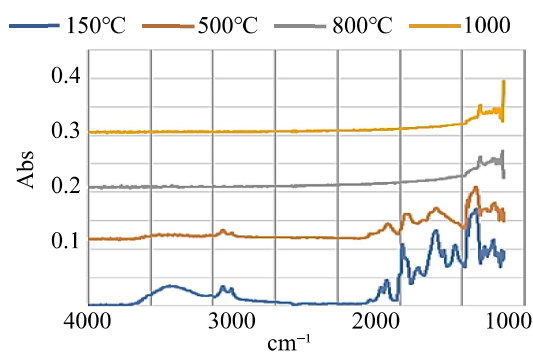


Fig.5 Structure analysis using FTIR

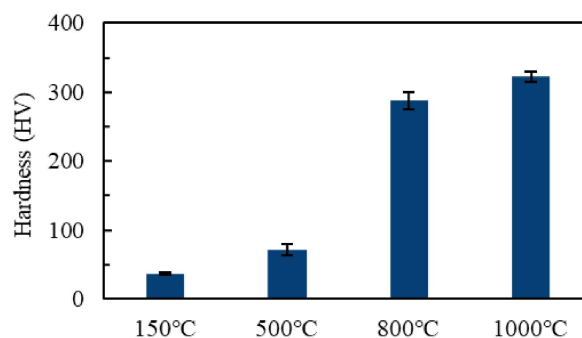


Fig.6 Vickers Hardness of friction samples