

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560819

研究課題名(和文)形状記憶ガラス状炭素の粘弾性モデルの構築

研究課題名(英文)Viscoelastic model of the shape-memory glass-like carbon

研究代表者

篠田 豊 (Shinoda, Yutaka)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・助教

研究者番号：30323843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：グラッシーカーボンの粘弾性変形挙動の基礎的データ取得のために島津サーボパルサーを用いて室温及び1900～2100℃の高温域での圧縮試験を行った。室温ではひずみ速度に依存しない変形挙動が観察されたのに対し、高温下ではひずみ速度の増加と共に応力が増加した。応力-ひずみ曲線から変形の各種パラメータを求めた。グラッシーカーボンの微細構造を高分解能TEM観察にて調査し、従来のモデルに示されるような気孔が存在せず、そこは低密度の非晶質カーボンで満たされていることが明らかとなった。これらの結果を元に、グラッシーカーボンの粘弾性挙動をバネ、ダッシュポットを用いた3要素粘弾性モデルにより解析した。

研究成果の概要(英文)：The compressive deformation tests were conducted in order to obtain the basic data of viscoelastic deformation in the glassy carbon at room temperature and high temperature of 1900 degree Celsius - 2100 degree Celsius using Simadzu servo pulser. The deformation did not depend on the strain rate at room temperature, while the flow stress increased with increasing strain rate at elevated temperatures. The deformation parameters was determined from stress-strain curves. The high resolution TEM observation revealed there was no micro pores in the glassy carbon and the spaces among the layer structures were filled with the amorphous carbon. From these results, the deformation behavior of the glassy carbon was analyzed using three-elements viscoelastic model.

研究分野：セラミックス 力学特性

キーワード：ガラス状炭素 粘弾性 形状記憶

1. 研究開始当初の背景

ガラス状炭素(GLC)は5%以上に及ぶ弾性回復挙動を示す。これは、通常の金属やセラミックス材料の弾性限界(0.1~0.2%)に比べて極めて大きい。高温下では、巨大な弾性回復の一部が粘性的に生じる。GLCの巨大な弾性変形メカニズムは超弾性合金のそれとは全く異なり、超微細な炭素六角網面の積層構造と密接に関係しているものと考えられる。これらの特性を利用することにより、GLCは超高温下で作動する形状記憶材料或はバネなどの超弾性材料としての応用が期待される。しかしながら、GLCの粘弾性挙動そのものについて、これまでのところ十分な理解が得られていない。

2. 研究の目的

本研究では、GLCの高温圧縮変形挙動を詳細に調査し、温度依存性、負荷-除荷速度依存性等を明らかにするとともに変形の各種パラメータを導出し、粘弾性変形の定量的評価を行う。また、TEM観察により、GLCのナノ構造を明らかにし、炭素材料の気孔径、結晶子サイズ、密度等が粘弾性変形挙動に与える影響を明らかにする。これらを元にGLCの粘弾性変形モデルを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

東海カーボン製グラッシーカーボン(GC20)の高温圧縮試験を行う。ひずみ速度(1×10⁻⁴~1×10⁰ s⁻¹)の範囲で、室温並びに、2000 付近の高温域まで幅広い温度域で圧縮試験を行い、粘弾性応答の速度依存性、温度依存性を調べる。

GLCの構造を実験的に明らかにする事はこの材料の粘弾性挙動のような力学特性のみならず、優れた機能特性を引き出しそれらを定量的に評価するのに必要不可欠であるため、GLCの構造モデルについて透過型電子顕微鏡(TEM)による高分解能像観察により明らかにする。

4. 研究成果

グラッシーカーボンの粘弾性変形挙動の基礎的データ所得のために島津サーボパルサーを用いて室温及び1900-2100の高温域での変形データを取得した。室温ではひずみ速度に依存しない変形挙動が観察されたのに対し、高温下ではひずみ速度の増加と共に応力が増加した。しかしながら、図1に示すように定常応力とひずみ速度の関係から応力指数はn=8.5を示し、定常状態での変形が拡散クリープではないことが明らかとな

った。

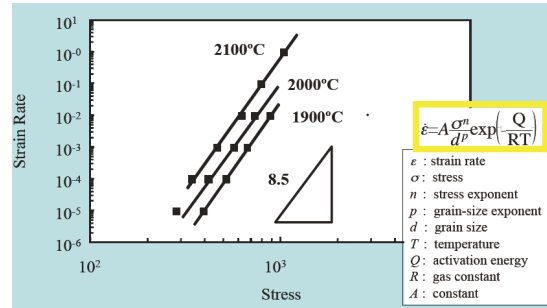


図1 定常状態での応力とひずみの関係

また、温度と応力500MPaでのひずみ速度の関係から見かけの活性化エネルギー700KJ/molを得た。これらの値から、グラッシーカーボンの粘性変形成分についての定量的な議論を行う事ができた。応力指数が粘性流体のそれと比較して著しく大きい事から、グラッシーカーボンの粘性変形中にはある種の構造緩和が生じている事が示唆された。また、ひずみ0.7までほぼ定常を示す事から粘弾性変形中の応力と歪み速度の間には直線的な関係が働くと見なして良い事が明らかとなった。グラッシーカーボンとの比較としてグラファイト材料の変形挙動を調査した結果、グラファイトでは高温域においても粘性成分がほとんど観察されないこと、さらに変形挙動のひずみ速度依存性が観察されない事から、グラッシーカーボンが示す粘弾性変形挙動はナノの微細構造と密接に関係がある事が明らかとなった。室温での変形により、試験機系の弾性変形を取り除いて得られた弾性定数はおよそ29GPaであった。

図2に1900, 1×10⁻⁴s⁻¹の条件でのひずみ0.1変形時の変形成分の内訳を示す。これより、全ひずみに占める塑性変形成分、時間依存のない弾性成分、時間依存のある弾性成分の割合は、およそ1:1:1であることが分かる。

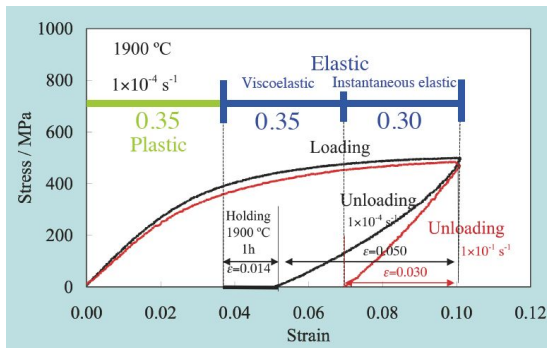


図2 ガラス状炭素の粘弾性変形挙動

変形除荷後の塑性ひずみ量ならびに塑性ひずみ率は全ひずみ量の増加とともに単調に増加する事を、また、図3に示すように、時間依存の粘弾性回復量はひずみの増加に伴い増加するが、回復率は減少する事を明らかにした。上記の条件に於いて、ひずみ 0.05 変形後の弾性回復率はおよそ 70%、また、ひずみ 0.3 変形後の弾性回復率はおよそ 27%であった。

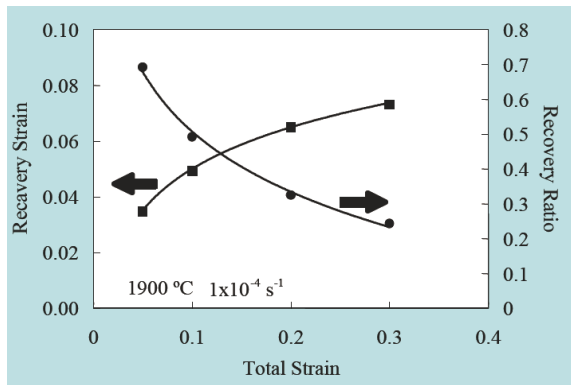


図3 ひずみと粘弾性回復量及び回復率の関係

市販のグラファイト材料、グラッシーカーボン、ならびに種々の気孔構造を有する炭素材料の SEM、TEM による微細組織の評価を行った。また、それらの炭素材料の圧縮変形挙動を調べ、除荷曲線より弾性回復挙動を調査した。

100nm 以下の細孔径分布を有する低密度炭素材料(0.8g/cm³)の弾性定数は、市販の粗大な気孔を有する高密度高強度グラファイト材料(1.8g/cm³)の10分の1程度であった。これより、気孔率は炭素材料の力学特性により顕著な影響を及ぼすことが分かる。市販のグラッシーカーボンとグラファイト材料の圧縮試験に依る応力ひずみ曲線から、グラッシーカーボンの弾性係数はグラファイトのそれよりも遥かに大きな値を示し、いずれの材料もひずみ 0.05 にも及ぶ弾性回復を示した。グラッシーカーボンの密度はグラファイトよりも小さく(1.6g/cm³)密度と弾性率が比例関係にないことが分かった。

グラッシーカーボンの微細構造を高分解能 TEM 観察にて調査した。図4に示すように、炭素の六角網面からなるナノの層状構造が複雑に入り組んだ特異な構造が観察された。層状構造間の隙間には、従来提唱されているモデルに示されるような気孔構造が存在せず、そこは低密度

の非晶質カーボンで満たされていることが明らかとなった。

これらの結果を元に、グラッシーカーボンの粘弾性挙動をバネ、ダッシュポットを用いた3要素粘弾性モデルにより解析した。

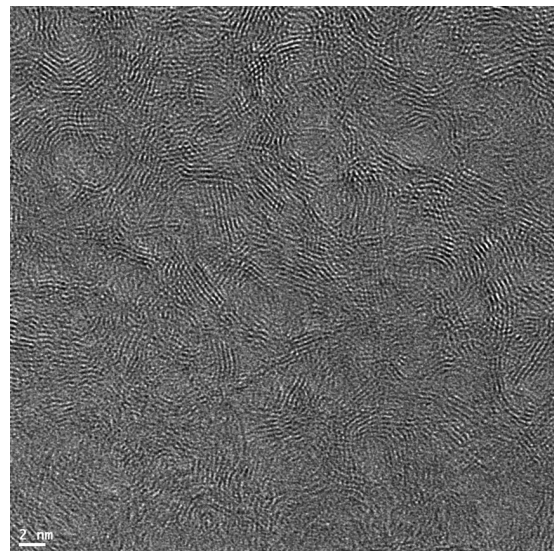


図4 ガラス状炭素の高分解能 TEM 像

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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

(1) 篠田豊 炭素材料の微細組織と弾性変形挙動 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム 2014年9月9-11日 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠田 豊 (SHINODA Yutaka)
東京工業大学・応用セラミックス・助
教
研究者番号：30323843

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：