

| | |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏名 | Jian Qiang |
| 学位の種類 | 博士（工学） |
| 学位記番号 | 博甲第 8353 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 29 年 9 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 審査研究科 | 数理物質科学研究科 |
| 学位論文題目 | Mechanically-Induced Structural Rejuvenation in Zr-Cu-Al-based Amorphous Alloys (Zr-Cu-Al 系非晶質合金における機械的に誘起された構造若返り) |

| | | | |
|----|-----------------|--------|-------|
| 主査 | 筑波大学 教授(連係大学院) | Ph.D. | 土谷 浩一 |
| 副査 | 筑波大学 准教授(連係大学院) | 博士(工学) | 渡邊育夢 |
| 副査 | 筑波大学 准教授 | 工学博士 | 谷本久典 |
| 副査 | 物質・材料研究機構 主任研究員 | 博士(工学) | 譯田真人 |

論 文 の 要 旨

本論文は塑性加工を用いた非晶質金属材料の創製とその特性制御を目指し、金属ガラス状態、及び結晶状態の Zr-Cu-Al 系合金に対して高圧ねじり加工(High-Pressure Torsion, HPT)法により巨大ひずみを付与した際の構造、組織と機械的、熱的特性の変化について調べたものである。特に、これまで当研究室で研究を行ってきた、高圧ねじり加工により機械的に誘起される構造若返り現象の合金組成への依存に重点を置いて研究を行ったものである。

論文の前半は傾角鋳造法で作製した金属ガラス状態の $Zr_{55}Cu_{30}Ni_5Al_{10}$ 合金(以下 Zr55)および $Zr_{65}Cu_{18}Ni_7Al_{10}$ 合金(Zr65)を高圧ねじり加工し、その構造変化を X 線回折(XRD)、透過型電子顕微鏡(TEM)で、機械的特性をナノインデンテーション法で、さらに熱的性質について示差走査熱量測定(DSC)を用いて系統的に調べた結果について報告している。その結果、Zr55 では加工とともにナノインデンテーションで測定した硬さと弾性率が著しく低下する現象を見出したが、Zr65 ではそれらの変化はそれほど顕著ではなかった。また Zr55 では塑性変形の機構が大きく変化し、ナノインデンテーション圧痕周囲の剪断帯が高圧ねじり加工によって減少し、変形がより均一に生じる傾向を示したが、Zr65 では高圧ねじり加工後も剪断帯が多く見られ、塑性変形の局在が顕著であることを見出している。一方、熱的性質においては Zr55 ではガラス転移温度(T_g)以下の温度域で顕著な熱的緩和による発熱反応が見られたが、Zr65 での熱的变化は Zr55 と比して僅かであった。XRD、TEM 観察の結果では加工による結晶化は見られていないことから、特に Zr55 で見られた硬さ、弾性率の低下や緩和エンタルピーの増加は自由体積の増加や短範囲/中範囲の規則構造の変化による構造若返りによるものと述べている。

また過去の研究による他の金属ガラスの緩和エンタルピーと fragility 因子とを比較し、fragility 因子が高く、短範囲／中範囲構造の規則性が高い合金ほど、顕著な構造若返りを示すことを明らかにした。また特に Zr65 については結晶化過程にも影響があり、20 回転以上加工した試料においては DSC 測定で見られた結晶化ピークが 2 つに分離する傾向が見られることを示した。

論文の後半では結晶化熱処理した $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ を 100 回転までの高圧ねじり加工により非晶質化した試料について、その力学特性と熱的特性の評価を行っている。DSC 測定では 10 回転以上の加工により非晶質相が生成するとガラス転移温度以下での発熱反応が見られ、回転数の増加とともに非晶質相の体積分率が増加するとともに、緩和エンタルピーは顕著に増加することを見出した。また TEM 観察により、100 回転加工後の試料は非晶質のマトリックスの中に直径 10 nm 程度の τ_5 相粒子が分散した状態である事を示した。力学特性について、100 回転加工後の試料は傾角鑄造法で作製した非晶質状態の試料と比較しても顕著に低い硬さと弾性率を示すことを明らかにした。これらの結果は結晶状態の $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ を高圧ねじり加工することで、非晶質化と構造若返りが同時に起こる事を示すものであると述べている。また非晶質化と構造若返りには高圧ねじり加工のアンビル回転速度が大きく影響し、0.2rpm で 50 回転加工後の試料と 1 rpm で加工後の試料では緩和エンタルピーがおおよそ 5 倍大きくなることを明らかにした。これは加工時の歪み速度の増加が転位や空孔などの欠陥生成量を増加させ、非晶質化が加速した事によると報告している。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

非晶質材料の原子レベルでの構造変化とそれによる特性変化は世界的にも研究が盛んである。特に非晶質合金の構造若返りに関する研究は近年特に研究が盛んになっている。本論文で得られた Zr 系金属ガラスの構造若返りによる軟化現象と緩和エンタルピーの相関、それらの合金組成依存に関する知見は非晶質材料における原子レベルの構造と特性の関係を解明するのに有用であり、さらにはその変形機構を解明する上でも極めて貴重であると言える。また高圧ねじり加工により金属ガラス化した試料が若返り状態にあり、強加工により非晶質化と構造若返りが同時に起こることを示した事は新しい金属ガラス材料の創製にもつながる可能性がある。以上の様に本論文の内容は金属系非晶質材料について基礎科学的にも工学的にも重要な内容を含んでいる。

〔最終試験結果〕

平成 29 年 8 月 23 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める