

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	AuCuAl基生体用形状記憶合金の機械的性質に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	海瀬晃
Author(English)	Akira Umise
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10505号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:細田 秀樹,稲邑 朋也,小田原 修,舟窪 浩,木村 好里,曾根 正人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10505号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

生体用として用いられている TiNi 形状記憶合金は、構成元素である Ni の生体アレルギーの懸念されており、新たな生体用形状記憶合金の開発が望まれている。ステントなどの体内医療機器としては、高い生体適合性に加え、良好なレントゲン造影性も必要となる。この両者を兼ね備える元素としては金(Au)が挙げられる。したがって、生体有害元素を含まず TiNi に替わる新生体用形状記憶合金となる可能性を有する AuCuAl 合金に着目した。しかし、医療デバイスとしての AuCuAl 超弾性合金では体温近傍のマルテサイト変態温度と良好な機械的性質の両立が求められるが、これまでの研究範囲では、AuCuAl 三元系においてはその両立が困難である。マルテサイト変態温度の低い合金において、脆性を改善し延性化するための因子として、合金組成、結晶粒径・粒界形状、添加元素、第二相、に着目し、医療デバイスとしての AuCuAl 超弾性合金の開発を行った。

まず、AuCuAl 合金の β 相組成領域は広いが、これまでに報告されている組成領域は、Cu 量一定や Al 量一定といった比較的狭い領域のみであるため、良好な機械的性質を示す組成の合金が、より広い三元系で開発できる可能性がある。また、本合金の開発を進めるために、基礎データとしてより広い組成範囲で研究を行うことが重要であるため、合金組成による延性への影響にも着目し、 β 単相領域内の AuCuAl 三元系多結晶合金の機械的性質について明らかにした。その結果、 β 相単相領域内の組成の合金では、室温で超弾性を示す組成範囲が限られており、かつ、その組成範囲内では良好な機械的性質は見いだせず、添加元素や組織制御など、その他の手法による延性化が実用化のために必要であることを明らかにした。また、室温で超弾性を示す組成において in-situ Brinell インデンテーション試験機を用いた微小押し込み試験と変形その場観察により、多結晶 AuCuAl 合金の破壊について実験的に観察を行った。結果として、AuCuAl 合金の破壊は応力集中により粒界三重点を起点に生じ、粒界割れが起こることを明らかにした。また AuCuAl 合金の粒界破壊を抑制するためのアイデアとして、結晶粒径を微細化し、さらに粒界でのき裂発生抑制のため、第二相や粒界形状の制御によりき裂進展を抑制する必要があることを提唱した。室温で超弾性を示す高 Al 濃度 AuCuAl 合金において粒界割れが観察されたが、その機械的性質に及ぼす粒界の影響を明らかにするためには、単結晶の機械的性質を明らかにする必要がある。また、本合金の形状記憶特性の解明のために、単結晶の研究が必要であるため、本研究では微小圧縮試験により単結晶マイクロピラーの機械的性質と形状記憶特性を明らかにすることとした。結果として、AuCuAl 合金は単結晶では大きな変形能を持ち、変態ひずみは最大で 3.0% を示し、AuCuAl 合金は医療用デバイスとして実用可能な機械的性質を有していることなどを明らかにした。本合金において粒界破壊を抑制するためには、結晶粒径を微細化し、さらに粒界でのき裂の発生や進展を抑制する必要がある。そのため、延性的な第二相の導入による延性化に着目した。AuCuAl 合金の β 相領域は第二相として α 相(fcc)や Au₄Al 相と平衡できるため、これら第二相を含む AuCuAl 三元系多結晶合金の機械的性質を明らかにすることとした。その結果、第二相として fcc 固溶体の α 相が粒界に存在した合金では 14%以上の高い引張延性を示すが、この場合、マルテサイト変態温度が高く生体用には使用できないこと、Au₄Al が生成しても延性はあまり変わらないことなどを明らかにした。また、結晶粒径を微細化させる方法としては、添加元素も有効である。添加元素として構成元素である Au, Cu, Al よりも融点が高く、AuCuAl 合金にわずかに固溶する元素を添加することにより、添加元素のクラスターや析出物が再結晶時の粒界 pinning site となり、粒界移動を抑制し粒界形状を複雑にするという組織形成の予測を立てた。このことから本研究では AuCuAl 多結晶合金の延性改善のために、粒界結合強度、粒界の形状、結晶粒寸法に着目し、機械的性質を向上させることが期待できる第四添加元素として B, Fe, Co を選択し、それらを添加した合金の機械的性質を調べた。結果として、Fe 添加および Co 添加は AuCuAl 合金の粒径を微細にかつ粒界の形状を複雑にし、これにより直線的な粒界一つあたりの長さを減少させること明らかにした。これにより、臨界き裂長さから推測できる破壊応力をすべり臨界応力以上とすることで、き裂発生前にすべり変形が起こるために延性が向上することを見出した。

以上より本論文では、AuCuAl 合金は本質的には塑性変形可能な材料であるが、多結晶は粒界脆性のため脆く、三元系の合金組成では実用化は難しいことを明らかにした。Fe や Co を添加すると結晶粒は微細化し、さらに粒界の形状が複雑になることで粒界脆性は抑制され延性が改善することを見出し、AuCuAl 合金の医療用デバイス材料としての開発指針を示した。