

氏名(本籍・生年月日) 堀田 将 臣(神奈川県 昭和59年1月4日)
学位の種類 博 士 (工 学)
学位記番号 甲 第 601 号
学位授与の日付 平成26年3月20日
学位授与の要件 信州大学学位規程 第5条第1項該当
学位論文題目 常温圧縮せん断法を用いた軽金属粉末の固化成形と
高強度化に関する基礎的研究
論文審査委員 主査 准教授 中山 昇 教 授 杉本公一
教 授 新井 進 准教授 榊 和彦
研究員 清水 透 (産業技術総合研究所)

論 文 内 容 の 要 旨

近年金属材料への使用要求が高まり，軽量かつ優れた機械的性質を有する材料が求められている．金属材料の有する結晶粒径と機械的性質の関係性はHall-Petchの関係式により明らかにされており，微細な結晶粒径を有するほど高い機械的性質を示す．このため，金属材料に圧縮，ねじりおよびせん断等の塑性変形を加え結晶粒径を微細化する強ひずみ加工に注目が集まっている．

強ひずみ加工の代表例として，繰り返しせん断加工法，繰り返し重ね接合圧延法，圧縮ねじり法および高圧ねじり法が挙げられる．これらの方法では，一般的にバルク金属に対してひずみを加えることで微細結晶粒を得る．しかし，繰り返しひずみを加える加工工程と変形抵抗の低減のために入熱を必要とするため，生産の現場で応用するためには加工工程の減少および熱エネルギーの低減が必須であると考えられる．

本研究では，新たに開発された強ひずみ加工である常温圧縮せん断法に注目した．常温圧縮せん断法は，常温および大気雰囲気下で金属粉末に対して圧縮応力およびせん断ひずみを負荷することにより金属薄板を成形する加工方法である．この方法では1回の工程で薄板に成形が可能であり，入熱することがないため材料内部の結晶は再結晶化せずに，圧縮応力とせん断ひずみの負荷により結晶粒は微細化すると考えられる．

本研究では，高強度な軽金属材料の開発を目的とし，成形体の機械的性質に及ぼす原料粉末の材質，平均粒径および形状の影響を明らかにした．特に，機械的性質と微細組織観察により，原料粉末の違いによる固化成形メカニズムの解明を行った．

第1章では，緒論について述べ，本研究の目的と構成を示した．

第2章では、金属の強化方法と強ひずみ加工の先行研究について述べた。また、新しい強ひずみ加工である常温圧縮せん断法について詳細を述べた。

第3章では、常温圧縮せん断法により成形を行った純Ti薄板の機械的性質を述べた。その結果、常温圧縮せん断法を用いて成形を行った純Ti薄板はせん断ひずみの増加に従って引張強さおよびビッカース硬さは増加し、通常の圧延材と比較し、それぞれ3倍および1.5倍の強度および硬さを示すことがわかった。また、常温圧縮せん断法を用いて成形を行った純Ti薄板はせん断ひずみの増加に伴い結晶粒径が微細化し、せん断ひずみ48の試料では平均結晶粒径が80nmまで微細化した。また、その固化成形メカニズムについて述べた。せん断ひずみの変化毎の透過型電子顕微鏡による観察結果から、圧縮応力の負荷により接触界面に応力集中が働き、この局所的な圧縮応力により、接触界面では拡散接合が起こり、その周辺には応力集中が遷移する。応力の集中により結晶内部では結晶のすべり変形が起こり、亜結晶粒化が起こる。せん断ひずみの増加に伴い接触界面は増加し、圧縮応力とせん断ひずみの増加に伴い、応力集中領域が増加することで亜結晶粒領域が増える。これらの現象が逐次的に起こり、せん断ひずみの大きな成形体では均質な亜結晶粒を有する成形体であることがわかった。

第4章では、常温圧縮せん断法を用いて固化成形を行った純Al薄板の微細組織と機械的性質を述べた。特に本章では原料の平均粒径が微細組織および機械的性質に及ぼす影響を明らかにした。その結果、原料粉末の平均粒径が細くなる程、成形体の平均結晶粒径が細くなり、機械的性質が高まることがわかった。また、Tiと同様にAl成形体の固化成形メカニズムを検討した。その結果、平均粒径および粉末形状は成形時の接触点に影響を及ぼすと考えられ、機械的性質および結晶粒径を制御できる可能性が示唆された。

第5章では常温圧縮せん断法を用いて純Alおよび純Tiの複合材料を作製した。このTi/Al複合材料の微細組織と機械的性質を述べた。その結果、常温圧縮せん断法により成形したTi/Al複合材料は合金化等、化合物化せずに、変形抵抗の小さいAl中に変形抵抗の高いTiが分散する組織になる。また、混合条件を変化することで、ミリング時間の増加に伴ってTi/Al複合材料の機械的性質は向上した。成形後の微細組織観察結果から、ミリング時間の変化によらず常温圧縮せん断法によるTi/Al複合材料が有する平均結晶粒径には変化がみられないため、粉末粒径、界面結合力および成形後のTi粒子の分散形態が機械的性質に及ぼす影響が大きいと考えられる。

第6章では本論文をまとめた。