Osaka University Knowledge Archive

Title	組織学的観点に基づく高濃度酸素固溶チタン材における高延性化機構の解明
Author(s)	刈屋, 翔太
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72383
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　刈　屋　翔　太　　）	
論文題名	組織学的観点に基づく高濃度酸素固溶チタン材における高延性化機構の解明

論文内容の要旨

本論文では，レアメタル元素を一切含まない高強度と高延性を有するチタン材料の創製を目指し，一般に脆性とされている高濃度酸素固溶チタン材に対して，組織因子が延性を始めとする引張特性に及ぼす影響を詳細に調査・解析した．これにより高強度と高延性が調和を有する酸素固溶チタン材の材料設計原理の構築を試みた．

第1章では，チタン材料を取り巻く現状を概観し，現行チタン合金の問題として高価で毒性を有する希少金属元素による強化に依存していることを示した．その上でこの問題を解決する方策として，資源的に豊富で毒性のない酸素に着目し，酸素固溶強化型チタン合金を提言した．次に，酸素固溶チタン材料に関する既往研究内容を整理および理解し，高強度と高延性を兼ね備える酸素固溶チタン材の創製にあたっての課題を明らかにした．以上を踏まえ，本研究の目的と方針を具体的に示した．

第2章では，本研究の流れ，原料粉末の諸特性と酸素成分の添加・固溶方法および固化成形・熱処理工程，ならびに作製した酸素固溶チタン材の分析・評価試験を含む各種実験方法について論じた．

第3章では，実験解析と計算科学を活用した本素材の作製における酸素の添加・固溶手法の検証と，その固溶強化量予測に関する基礎検討を行った．安定相であるTiO_2粒子のチタン中での分解と酸素原子のチタン中への固溶に関する挙動を，分解反応前後の組織構造解析と真空熱処理でのin-situ SEM-EBSD解析により実験的に示すとともに，本反応について第一原理計算により導出した自由エネルギーを基に考察した．その結果，hcp構造Ti結晶の八面体位置に酸素が固溶原子として存在する構造はTiO_2よりも安定であり，本固溶状態の形成に伴うα-Ti結晶格子の変化がＸ線回折による構造解析結果と一致することを明らかにすることで，TiO_2の分解を利用したチタンへの酸素原子固溶が有効であることを示した．一方で，酸素固溶強化量の予測に関して，固溶強化モデルとして使用されるLabusch modelについて，hcp構造を有するチタンでは酸素の固溶に伴って異方的なひずみが導入されるため，従来は算出が困難であった固溶原子と転位間の相互作用力F_m値を実験データベースに基づいて導出し，これを用いてチタン材における酸素固溶強化量を高い精度で予測できることを示した．

第4章では，高濃度の酸素添加により延性が低下したチタン粉末押出材において，適正な相状態での急冷熱処理を施すことで延性が向上することを示し，組織構造的観点からその高延性化機構を明らかにした．微細結晶粒（10 μm程度）を有するTi-0.94 mass%O粉末押出材はα相とβ相の混合組織からの急冷熱処理により破断伸びは著しく向上した．このような二相混合状態では，α相-β相間で酸素を分配するためにβ相における酸素濃度は顕著に減少し，この領域が急冷過程のβ→α相変態後では微細な低酸素濃度相を生成することを示した．このような塑性変形能に優れる低酸素濃度相がネットワーク状に形成される結果，急冷材の延性が向上することをSEM内引張試験でのin-situ EBSD解析と均質化熱処理材の引張特性解析により明らかにした．

第5章では，一般の溶解法により作製したチタン鋳造材の高延性化を目的に，固溶酸素の分布および押出加工に伴う結晶粒微細化と強い結晶配向の導入が引張特性に及ぼす影響を調査した．鋳造材はその製法に由来して固溶酸素の偏析組織を伴うが，均質加熱処理により酸素偏析領域を解消して均質化することで，低濃度酸素固溶チタン鋳造材の破断伸びは回復した．さらに，高濃度酸素固溶チタン鋳造材では，熱間押出加工を施すことで微細結晶粒形成と配向性強化により優れた破断伸びを示した．押出材における延性向上に関しては，α-Ti結晶粒の微細化と酸素固溶に伴うc/a値の増加による柱面すべりの不活性化を，押出加工により形成された柱面方向への強い結晶配向が相殺したことが主因であると考えた．

第6章では，本研究にて得られた結果および知見を総括した．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　刈屋　翔太　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	近藤　勝義
	副 査　教 授	渋谷　陽二
	副 査　准教授	吉矢　真人
	副 査　准教授	梅田　純子

論文審査の結果の要旨

本論文では，レアメタル元素を一切含まない高強度と高延性を有するチタン材料の創製を目指し，一般に脆性とされている高濃度酸素固溶チタン材に対して，酸素固溶濃度分布，結晶粒径，集合組織といった組織因子が強度と延性に及ぼす影響を詳細に調査・解析している．その際，酸素原子の固溶現象に伴う結晶格子の変化を第一原理計算により定量的に解析すると共に，古典強化理論に基づいて導出した酸素固溶強化量と実験結果との良い一致を明らかにしている．これらの結果を通じて，高強度と高延性が調和を有する酸素固溶チタン材の材料設計原理を構築している．主要な成果は以下の通りである．

（1）実験解析と計算科学を活用した本素材の作製における酸素の添加・固溶手法の検証と，その固溶強化量予測に関する基礎検討を行っている．安定相である TiO_2 粒子のチタン中での分解と酸素原子のチタン中への固溶に関する挙動について第一原理計算により導出した自由エネルギーに基づいて定量的に考察した結果，hcp 構造 Ti 結晶の八面体位置に酸素が固溶原子として存在する構造は TiO_2 よりも安定であり，本固溶状態の形成に伴う α-Ti 結晶格子の変化がＸ線回折による構造解析結果と一致することを明らかにしている．

（2）酸素固溶強化量の予測に関して，固溶強化モデルとして使用される Labusch model について，hcp 構造を有するチタンでは酸素の固溶現象に伴って異方的なひずみが導入されることから，従来は算出が困難であった固溶原子と転位間の相互作用力について実験データベースに基づいて導出し，これを用いてチタン材における酸素固溶強化量を高い精度で予測できることを示している．

（3）高濃度の酸素添加により延性が低下したチタン粉末押出材において，適正な相状態での急冷熱処理を施すことで延性が向上することを示し，組織構造的観点からその高延性化機構を明らかにしている．10μm 程度の微細結晶粒を有する Ti-0.94 mass% 酸素材において，α相とβ相の混合組織からの急冷熱処理を施すことで急冷過程のβ→α相変態後に塑性変形能に優れる低酸素濃度相が粒界近傍にネットワーク状に形成される結果，素材全体の延性が顕著に向上することを SEM 内引張試験における EBSD 解析により実証している．

（4）溶解法により作製したチタン鋳造材の高延性化を目的に，先ず，低濃度酸素固溶チタン鋳造材では均質加熱処理により酸素偏析領域を解消することで破断伸びは回復し，高濃度酸素固溶チタン鋳造材では，強塑性加工を施すことで微細結晶粒形成と結晶配向性強化により優れた伸びを発現することを明らかにしている．

以上のように，本論文では，工業用純チタン材料への高濃度の酸素原子が固溶した際の力学特性の解析を通じて，酸素固溶濃度分布，結晶粒径，集合組織といった組織因子が引張強さに及ぼす影響を古典強化理論と第一原理計算を用いて定量的に解明すると同時に，引張応力が付与された際の塑性変形挙動への影響を熱処理実験により明らかにすることで高い延性を維持するために有効な組織構造を提案している．その結果，高強度と高延性が調和を有する酸素固溶チタン材の材料設計原理を確立するために必要な新規かつ有用な知見を明らかにしている．

よって，本論文は博士論文として価値あるものと認める．