The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	純チタンの微細構造と機械的性質に対するユビキタス軽元素の機能解明
Author(s)	三本, 嵩哲
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55918
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　三　本　嵩　哲　）	
論文題名	純チタンの微細構造と機械的性質に対するユビキタス軽元素の機能解明

論文内容の要旨

本論文では，軽量，高比強度，高耐腐食性を有するチタン(Ti)を対象として，その高強度・高延性化に資するユビキタス軽元素(水素，窒素)の機能発現メカニズムを材料組織学的知見から明らかにした．これにより，既存Ti合金の高強度化に必須のレアメタル元素を一切添加しない元素戦略適応型の新しいチタン材料設計原理を構築した．

第１章では，チタン材料を取り巻く現状を概観し，普及への最大の課題として高い素材コストの問題を取り上げた．その上で，本課題を解決する方策として，資源的に豊富で安価なユビキタス元素の活用に着目し，チタン材料の高強度・高延性化および低コスト化に効果的な「水素」および「窒素」の２種類のユビキタス軽元素を活用した新規材料設計を提案した．以上を踏まえ，本研究の目的，および最終開発目標を具体的に示した．

第２章では，本研究の流れ，原料粉末の諸特性と強化元素の導入手法および固化成形工程，ならびに作製した材料の分析・評価試験を含む各種実験方法について論じた．

第３章において，水素添加Ti押出材(水素含有量：0.33 mass%)は，α-Ti母相にチタン水素化物(TiH_x)が均一微細に分散した二相組織を呈した．また本材は，水素によるチタンの相制御を適用した熱間押出加工によって高強度・高ヤング率化に資する<0001>集合組織を形成することで，比較用純Ti押出材の1.5倍の最大引張強さ(UTS)を発現した．加えて，組織中に分散するTiH_xを障害物として利用することで，延性低下を引き起こす双晶の進展・粗大化が抑制される事実を発見・検証し，本材が高強度と高延性を両立するメカニズムを明らかにした．

第４章および第５章にて対象としたTi-N系においては，純チタン原料粉末と窒素ガスを直接反応させることによって(固気直接反応法)，最大窒素含有量：0.90 mass%という高濃度の窒素導入が可能となった．この窒素処理チタン粉末焼結体に対して均質化熱処理と熱間押出加工からなる複合均質化プロセスを適用することで，窒素原子の完全均質固溶状態を実現した．このようにして得られた窒素添加Ti押出材は，導入した全窒素原子が寄与する効果的な固溶強化を主たる強化機構とすることで，純Ti押出材と比較すると0.2%耐力(0.2%YS)が最大152%向上するという著しい高強度化を達成した．その耐力増加量は，固溶強化理論に基づく数値計算結果と良く一致し，窒素原子を活用した本材料設計の有効性を実証する結果となった．また，本材の塑性変形挙動を解析する際の有効なパラメータとして格子定数のc/a軸比を導入し，主すべり系が柱面すべりから変化しないc/a軸比の範囲内($c/a \leqq 1.593$)に窒素導入量を制御することで，破断伸び：25%以上の高延性が維持できることを明らかにした．

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　（　三本　嵩哲　）			
論文審査担当者		(職)	氏　名
	主 査	教授	近藤　勝義
	副 査	教授	箕島　弘二
	副 査	教授	渋谷　陽二
	副 査	教授	片山　聖二

論文審査の結果の要旨

本論文では、チタンにおける水素および窒素といった軽元素の機能発現メカニズムを材料組織学的知見から明らかにすることで、従来のレアメタル元素添加依存から脱却した元素戦略適応型のチタン材料設計原理を構築するとともに、それを活用した高強靭性・低コストチタン材料の創製を目的としている。主な成果は次の通りである。

１）TiH_2粉末を直接原料とした純チタン材創製の可能性を検証するとともに、高濃度の水素を含んだ Ti-H 押出加工材に対する組織構造解析および力学特性調査を通じて、チタンの高強靭化に寄与する水素の元素機能を明らかにしている。比較的多量の残留水素を含有した２種類のチタン焼結押出加工材（水素含有量：0.15 mass%と 0.33 mass%）は、いずれも六方晶格子の c 軸が押出方向と平行に配列した〈0001〉集合組織を有し、また 2～3 μm 程度の微細な結晶粒組織を呈することを明らかにしている。このような特異な集合組織形成の結果、ヤング率の向上とそれに起因する耐力の増加を実証している。さらに、高濃度水素の影響によってチタン結晶粒を分断するように析出した水素化物（δ-TiH_X）相が変形双晶の局所的発生およびその進展・粗大化を抑制した結果、材料全体に大きな均一変形が生じて高い延性を維持できることを解明している。その際、その水素化物そのものも十分な塑性変形能を有し、引張変形に伴って延性的に振る舞うことが走査型電子顕微鏡内でのその場観察により明らかにしている。

２）ユビキタス軽元素の中でもチタンの固溶強化能に優れる窒素を用いた Ti-N 系材料の高強度・高延性に寄与する窒素の元素機能を解明すべく、固気直接反応法による窒素原子の高濃度導入手法の検討から、完全均質固溶体を実現するプロセス設計、高濃度の窒素導入が材料特性に及ぼす影響の解析・評価までを行っている。窒素原子の偏析現象を解決すべく、窒素処理チタン粉末焼結体に対して均質化熱処理と熱間押出加工からなる複合均質化プロセスを適用し、ほぼ完全な窒素原子の均質固溶体組織（均質性：93%）の実現に成功している。その際、導入した全窒素原子による固溶強化が発現することで、例えば、窒素含有量が 0.69 mass%の純チタン材においては引張強さ；1174MPa、耐力；1004 MPa、破断伸び 18.3%といった高強度と高延性を両立している。また、固溶強化理論（Labusch 限界）に基づく数値計算の結果、本チタン材における主たる強化機構は窒素固溶強化であると結論付けている。

３）窒素原子の完全均質固溶を実現した Ti-N 押出加工材における塑性変形挙動およびその支配因子たる塑性変形機構を解明すべく、新たな材料パラメータとして格子定数の c/a 軸比を導入し、固溶強化を施したチタン材料における延性特性データを結晶方位学に基づく hcp 構造金属のすべり系の観点から考察している。α-Ti(hcp 構造)の場合、塑性変形機構はすべり系を介して c/a 軸比と相関を持つこと、また hcp 構造金属全体での主すべり面変化の境界値（c/a = 1.593)と破断伸び低下の境界値が一致したことから c/a ＞ 1.593 なる c/a 軸比を有する Ti-N 押出加工材においては、主すべり系が柱面すべり｛10-10｝〈11-20〉から底面すべり｛0001｝〈11-20〉に変化し、塑性変形を生じ難くなることで延性が低下することを明らかにしている。

以上のように、本論文では、水素と窒素を利用した集合組織形成と完全均質固溶による純チタン材における高強度・高延性の発現に資する両元素の元素機能を解明することで、既存チタン合金を凌駕する高強度と高延性を兼ね備えた廉価なチタン創製に資する材料設計原理を構築するための新規かつ重要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。