HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Microstructure and phase stability of multi-phase alloys in refractory-metal base systems [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	彭, 力
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13642号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74102
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Li_Peng_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　彭 力

審査担当者　主　査　教　授　三浦 誠司
副　査　特任教授　鵜飼 重治
副　査　准教授　大野 宗一

学位論文題名

Microstructure and phase stability of multi-phase alloys in refractory-metal base systems
(耐火金属基多元系合金における組織と相安定性)

AB_2 型 Laves 相は TCP(topologically close-packed) 構造と呼ばれる一群の金属間化合物に分類され、高融点と、高温における優れた機械的性質から高温材料への応用が期待される。これまで、$Nb/NbCr_2$ や $Cr/TaCr_2$ のように、常温での靱性向上を目指したいわゆる延性相による靱化 (Ductile-phase toughening) が追求されてきたが、延性相の体積率が高いために強度が不十分という問題があった。また、母相となる Cr や Nb などの BCC 耐火金属の高温強度も不十分である。このようなトレードオフの関係を打破するため、新規な BCC_1/BCC_2/Laves 三相合金を提案した。ここでは、BCC 母相に新規に導入した微細 BCC 第二相が BCC_1/BCC_2 界面を導入し、さらに Laves 相が BCC_1/BCC_2 二相組織中に分散されると期待できる。この目的のため、Cr-Mo-Nb 三元系状態図を対象とし、析出過程とそれに及ぼす BCC/Laves 間の結晶学的方位関係を明らかにするとともに、亀裂伝播の阻止の能力、さらに、Si 添加による組織変化・相安定性変化について調べた。以下に本論文の要約を示す。

第 1 章では、本研究の背景が説明され、二酸化炭素ガスの削減と高効率での電力生産のためにより高い温度で使用できる耐熱材料が不可欠であることが詳しく述べられている。

第 2 章では、実験に関する詳細を述べている。高融点であることから従来の合金作製法・熱処理法・評価法では不十分なため、新規な熱処理や、限られた試料から力学的情報を得るための詳細が述べられている。

第 3 章では、50 年以上前に提案された Cr-Mo-Nb 三元系状態図を改訂し、BCC_1/BCC_2/Laves 三相の組成域を確定した。これに基づき、BCC_1/BCC_2/Laves 三相合金およびその高 Cr 側、低 Cr 側に広がる BCC/Laves 二相領域内の組成を持つ BCC/Laves 二相合金を作成し、三者でその組織形成過程が大きく異なること、そしてそれらが BCC/Laves 間の結晶学的方位関係および格子ミスマッチによって説明されることを示した。

第 4 章では、BCC_1/BCC_2/Laves 三相合金の組織形成過程を明らかにした。高温熱処理によって BCC 単相とした後、1473K 付近で熱処理を施す事によって、まず BCC → BCC_1/BCC_2 への組織変化が起こり、その後、Laves 相が出現することが明らかとなった。各相の強度をナノインデンタで評価したところ、高 Cr である BCC_1 相は低い強度を示し、これが BCC → BCC_1/BCC_2 への組織変化中における合金強度低下の原因であるとした。一方、Laves 相は他と比べて強度が高く、析出に伴って合金の強度は著しく増加する。ビッカース試験による亀裂導入傾向から、Laves 相に亀裂が入ったとしても、周辺の BCC 相 (BCC_1 もしくは BCC_2) が有効に亀裂進展を阻止することが

明らかとなり、常温における ductile-phase toughening の機能を有することが示された。

第 5 章では、Cr-Mo-Nb 三元合金中の Laves 相の安定性に及ぼす Si の効果を調査した。これら耐火金属基合金は Si 化合物によって高温強度増加を目指す例が多数報告されているが、Si 添加合金では、Si が Laves 相に優先的に固溶し、また、Laves 相の出現温度も増加することが明らかとなった。このことから、Si が Laves 相を安定化すること、また、Si 化合物による強化をもくろんだ合金設計への合理的な取り組みに向けた基礎的な知見を取得することができ、さらに高度な合金設計への足がかりが得られた。

第 6 章では、本論文の結論がまとめられており、そこでは析出過程の制御に関する BCC/Laves 間の結晶学的方位関係の重要性の指摘と、Laves 相安定性制御に及ぼす Si などの添加元素の有効活用の提案がなされている。

これを要するに、著者は、耐火金属をベースにした合金における BCC_1/BCC_2/Laves 三相合金の有用性とその組織制御のための重要な基礎的知見を Cr-Mo-Nb 三元系合をモデルとした研究で明らかにし、今度の超耐熱合金の展開に向けた材料科学分野の進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。