

論文内容の要旨 Abstract of Dissertation

氏名Name 山口直也

Title of Dissertation: Materials Design Strategy of Ti_2AlC MAX Phase Ceramics Based on Microstructure Control and Composition Optimization (組織制御と組成調整による Ti_2AlC MAX 相セラミックスの材料設計指針)

工業分野において、機械的強度、高温耐酸化性、耐食性に優れるセラミックス材料の需要が増加している。しかしながら、セラミックス材料の加工性の低さは、材料の適用範囲を制限する重大な問題である。セラミック材料は硬くて脆いため、切削によって複雑な形状に加工することは困難である。さらに、セラミックス材料の加工面にはクラックが導入されやすい。セラミックス部品の機械的強度や信頼性を確保するためには、加工後に研磨などによって表面損傷を除去する必要がある、加工コストが高いという問題もある。そのような加工に関する問題が発生しない高強度なマシナブルセラミックスとして、MAX 相セラミックスの一つである Ti_2AlC セラミックスが注目されている。 Ti_2AlC セラミックスは層状 3 元素化合物であり、金属結合と共有結合を有している。そのため、金属的な特性（金属並みの電気伝導、熱伝導、高い熱衝撃抵抗）とセラミックス的な特性（高弾性率、耐酸化性、耐化学侵食性）を有している。また、セラミックス的な性質を持っているにも関わらず汎用超合金製工具で切削加工が可能である。それに加えて、高温環境下に置かれると自動的に傷が治癒する自己治癒能力を有しているため再使用が容易である。このような優れた特性を有する Ti_2AlC セラミックスは、高温用途における様々な機械部品への利用が期待されているだけでなく、新たな産業を創生しながら生産・消費・廃棄のそれぞれの段階で資源を循環させる仕組みであるサーキュラー・エコノミー（CE）構築に資することも期待されている。しかしながら、 Ti_2AlC セラミックスは材料特性の制御が困難であるため、高温環境製品として社会実装が進んでおらず、技術成熟度レベル(TRL)が低いという問題がある。高温環境材料として使用する際には耐酸化性が重要となる。しかしながら、 Ti_2AlC セラミックスは高い耐酸化性を有しているという報告もあるが、悪いという報告もある。 Ti_2AlC セラミックスの高温部品への普及を促進するためには、 Ti_2AlC セラミックスの耐酸化性を安定化させることが必要である。それに加えて、機械的強度も高温耐熱部品にとって重要な特性であるが、 Ti_2AlC セラミックスの機械的強度の報告値はばらつきがある。 Ti_2AlC セラミックスを構造部材として用いる場合、機械的強度のばらつきの原因を突き止め、高い機械的強度を有したサンプルを作製する必要がある。また、MAX 相セラミックスの切削加工は報告されているが、切削面の損傷メカニズムや切削ダメージの影響については明らかにされていない。 Ti_2AlC セラミックス製品を切削加工を用いて生産する際には、切削損傷が機械的強度に与える影響を系統的に評価することが必要である。これらの問題を解決して、高温材料にとって特に重要な特性に関する材料設計指針を構築することにより、 Ti_2AlC セラミックスの TRL を上昇と社会実装の促進を行うことが可能となる。本論文の主な目的は、 Ti_2AlC セラミックスの材料設計指針を確立することである。高温部品に対する材料設計指針を確立するために、組織制御と組成調整が高温耐酸化性、機械的強度、被削性に及ぼす影響について検討した。そして、その材料設計指針を高温ねじ部品に適用し、その特性を評価した。耐酸化性に関しては高

Al 濃度の Ti_2AlC が良好な耐酸化性を有し、Nb 添加により低 Al 濃度の Ti_2AlC の非保護性酸化を抑制可能であることを明らかにした。この結果は、 Ti_2AlC セラミックスの耐酸化性を安定化させるために有用である。また、機械的強度に関しては TiC を制御することにより曲げ強度が向上すること、耐酸化性の向上に有効な Nb 添加は機械的強度に影響を与えないことを明らかにした。この結果は、 Ti_2AlC セラミックスの機械的強度を向上させるために有用である。被削性に関しては、 Ti_2AlC セラミックスをグラファイトや SKD61 と同じ条件で切削加工できること、切削加工したままの Ti_2AlC セラミックス試験片の曲げ強さが大きく低下しないことを明らかにした。これらの結果から、 Ti_2AlC セラミックスは、加工時に曲げ強度が大きく低下しないため、その後の研磨を必要としない可能性があり、実用性の高いマシナブルセラミックスであることが示された。以上の議論を踏まえて、高温部品に適用するための Ti_2AlC セラミックスに関する材料設計指針を作成した。その材料設計指針に基づき Ti_2AlC セラミックスボルト・ナットを作製して特性評価を実施した。その結果、 Ti_2AlC セラミックスは一般的なマシナブルセラミックスであるマイカよりも被削性に優れていることを明らかにした。また、 Ti_2AlC セラミックスボルト・ナットは市販の耐熱ねじ部品である、アルミナボルト・ナットよりも高い機械的強度を有していた。これらの結果は、今回構築した材料設計指針に沿って作製した Ti_2AlC セラミックスは耐熱ねじ部品用の材料に適しており、従来のセラミックスねじ部品よりも優れた特性を有することが確認された。したがって、本論文で構築された高温部品用材料設計指針は有用であり、 Ti_2AlC セラミックスの TRL 向上に寄与することができた。

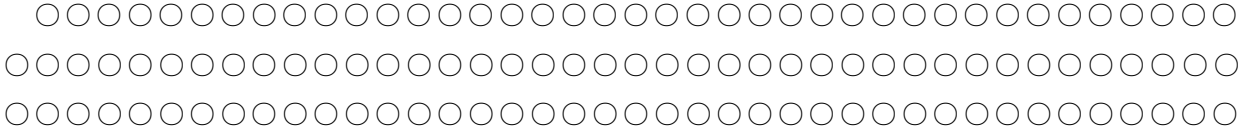
Ti₂AlC MAX相セラミックスは組成域が狭いため、様々な異相と共存する。その**異相のばらつきが耐酸化性に影響を与えている**のではないかと考える。また、強度がバラついている原因は結晶構造に影響があるのではないかと考える。加工性に関しても、加工したという報告はあるが、表面粗さや、加工後の強度低下についての報告はない。以上の知見を組み合わせることにより、循環型経済性の高い**TAC-MAX相の材料設計指針の構築**が可能であると考えられる。

論文内容の要旨
Abstract of Dissertation

氏名 Name ●●●●●●

工業製品において表面機能はその性能や品質を支配する事例が多く見られる。構成要素部品の表面仕上げ精度を始めとして摩擦・磨耗特性や光学・磁気特性などの表面機能では微細な表面凹凸の幾何学的性質が深く関係している。

It is commonly observed that the surface function of an industrial product influences the product performance and quality. Surface functions, such as frictional and attritional properties and optical and magnetic properties (including the accuracy of surface finishing of component parts), are deeply related to the geometric properties of fine surface asperity.



- ・ 上部余白：18～24mm 程度
- ・ 左右余白：20～24mm 程度
- ・ 1 行の文字数：40 文字
- ・ 1 ページの行数：40 行
- ・ 文字サイズ：9～11 ポイント
- ・ 文字種：明朝体
- ・ 文字数：2,000 字程度
- (Formatting Guidelines)
- ・ Head margin: Approx. 25 mm
- ・ Left margin: Approx. 30 mm
- ・ Line spacing: Approx. 6.4 mm
- ・ Number of characters per line: Approx. 40 characters for Japanese
- ・ Font size: Approx. 9-10.5 point
- ・ Number of characters: Approx. 2,000 characters in Japanese or 500 words in
- English
- ・ Font: MS Mincho for Japanese, Times New Roman is recommended for English

