

超合金等の硬質材料について最高特性発現と環境調和性の設計学(シミュレーション)構築を目指す

Development of designing (simulation) study for maximum properties and environmental harmony in cemented carbide and other hard materials



客員教授 川上 優
 Professor
 Masaru Kawakami



助教 寺坂 宗太
 Assistant Professor
 Sota Terasaka

当研究分野では、切削工具、耐摩耗工具に用いられる炭化タングステン-コバルト (WC-Co) 超合金などの硬質材料において環境資源問題と材料特性等を調和させること(環境調和設計)を目的とした研究開発を進めている。新規硬質材料の基礎研究、シミュレーション、材料設計データベースの構築等を行う。メカニズム解明などの基礎研究の成果が実用的な観点からどのような意味をもつかを明らかにする。硬質材料における資源問題の解決策(希少金属の低減・代替技術など)の基礎研究を行い、硬質材料における資源問題や環境問題を解決する材料設計技術開発を目指す。

We are conducting research and development aimed at harmonizing environmental resource issues and material properties (environmental harmony design) with hard materials, such as tungsten carbide-cobalt (WC-Co) cemented carbides, used for cutting tools and wear-resistant tools. Basic research on new hard materials, simulation, and the construction of a material design database will be conducted. We will clarify the meaning of the basic research results, such as mechanism elucidation, from a practical standpoint and conduct basic research on solutions to resource problems in hard materials (e.g., technologies to reduce and substitute rare metals), aiming to develop material design technologies to solve resource and environmental problems in hard materials.

超合金材料の基礎研究

超合金材料では近年、従来よりも極めて高い強度が得られる超微粒超合金が新規材料として開発され、その基礎研究が重要となっている。また、超合金の工業製品においては形状品質や希少金属(W, Co等)の低減・代替技術の研究なども重要な課題である。本研究室ではこれらの課題に関する研究を企業と連携して行っており、最近では超合金のCo代替材料、超合金の焼結時における液相移動のメカニズム、超合金の成形プロセスと強度に関する研究を進めている。

材料プロセスと組織形成のシミュレーション

硬質材料の多くは粉末成形～焼結プロセスによって作製されるが、各プロセスにおける因子は非常に多く、また組織への影響は極めて複雑であるため、シミュレーションの活用が有効である。本研究では、モンテカルロ法、有限要素法、離散要素法などを用いて、

Basic research on cemented-carbide materials

Ultra-fine grained cemented carbides with extremely higher strength than before have been developed as new materials in recent years, and basic research on these materials has become important. Research on shape quality, rare metal reduction (W, Co, etc.), and alternative technologies are also important issues for industrial cemented-carbide products. Our laboratory has been conducting research on these issues in cooperation with companies. Recently, research has been conducted on Co substitute materials for cemented carbides, the mechanism of liquid phase migration during cemented-carbide sintering, and the relationship between cemented-carbide compaction processes and strength.

Simulation of material processes and microstructure development

Most hard materials are fabricated by the powder-compaction-to-sintering process. Because there are so many factors in each process and their effects on the microstructure are extremely complex, the use of simulation is effective. In this study, we are conducting a simulation

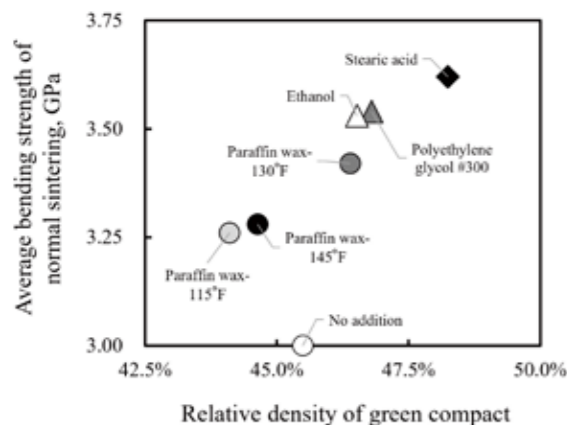


Fig. 1 Relationship between the relative density of green compact and strength of sintered body with varying additives.

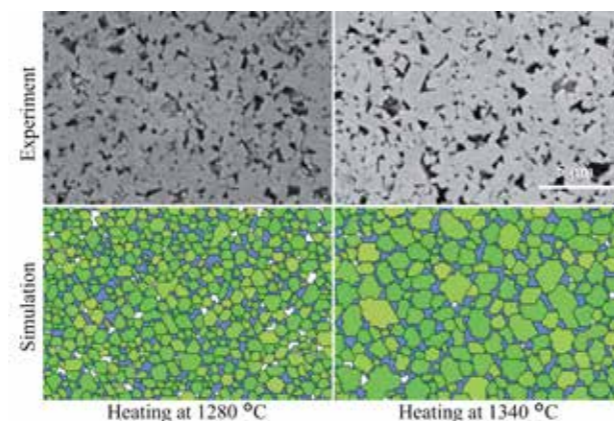


Fig. 2 SEM images and liquid-phase sintering simulation images of cemented carbide.

硬質材料の材料プロセスにおける組織形成と変形のシミュレーション研究を行っている。超合金を対象とした液相焼結・粒成長の組織形成シミュレーション、粉末成型成形と焼結を連続させたプロセスのシミュレーション、基板拘束された焼結における組織変化と変形の連携シミュレーションの開発を行っている。

硬質材料の特性のシミュレーション

超合金は切削工具、耐摩耗工具などの幅広い分野で用いられており、その機械的特性が重要となる。本研究では、硬質材料の機械的特性のシミュレーションを有限要素法と離散要素法を用いて行っている。最近では、離散要素法によるシミュレーションを行い、超合金中の欠陥サイズ、欠陥の強度、欠陥のヤング率が超合金の強度と破壊挙動に与える影響について解析している。

材料設計データベースの構築

各種のシミュレーションや計算状態図の結果を集積し、材料設計データベースとしての構築を行う。WCと種々の結合相(Co, Ni等)および各種添加物(VC, TiC, TaC等)の計算状態図をまとめ、データベース化を進めている。また、既報の組成、プロセスと機械的特性の関係や、液相焼結・粒成長シミュレーションの各計算因子と組織(粒径、気孔率等)の結果に対して機械学習の適用を進めている。

学会等での活動

川上優: 粉体粉末冶金協会理事、同協会硬質材料委員会委員長、同協会粉体および粉末冶金出版編集委員、塑性加工学会代議員、ISO/TC119/SC4「超合金のサンプリング及び試験方法」エキスパート等
 寺坂宗太: 粉体粉末冶金協会代議員、日本セラミックス協会エンジニアリングセラミックス部会役員

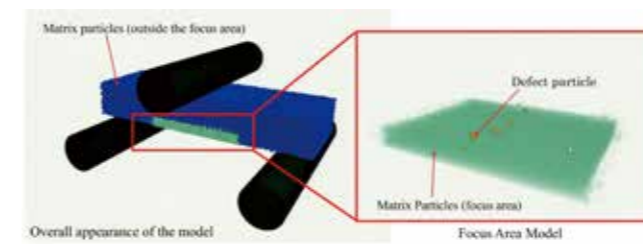


Fig. 3 Discrete-element method simulation model for three-point bending test of cemented carbide with defect particles.

study of microstructure development and deformation in the material process of hard materials, using the Monte Carlo method, finite-element method, and discrete-element method. We are developing simulations for microstructure development in liquid-phase sintering and grain growth targeting cemented carbides, simulations for a continuous process integrating powder compaction and sintering, and coupled simulations of microstructural changes and deformation during substrate-constrained sintering.

Simulation of hard material property

Cemented carbide is used in a wide range of fields, such as cutting tools and wear-resistant tools, where its mechanical properties are crucial. The mechanical properties of hard materials are simulated using the finite-element method and the discrete-element method. Recently, discrete-element method simulations were performed to analyze the effects of defect size, defect strength, and defect of Young's modulus on the strength and fracture behavior of cemented carbide.

Construction of material-design database

We are constructing a material-design database by accumulating the results of various simulations and phase diagram calculations. We are compiling phase diagram calculations of WC and various binder phases and additives and creating a database. We are advancing the application of machine learning to the relationship between the previously reported composition/process and mechanical properties as well as the relationship between computational factors in liquid-phase sintering and grain growth simulations and microstructure.

Activities in academic societies

Masaru Kawakami:
 Director of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Chairperson of Technical Division of Hard Materials Committee of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Publication Editorial Committee of the *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, Representative of the Japan Society for Technology of Plasticity, Expert in ISO/TC119/SC4 "Sampling and testing methods for hard metals," etc.

Sota Terasaka:
 Representative of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Officer of the Engineering Ceramics Division, Ceramic Society of Japan.

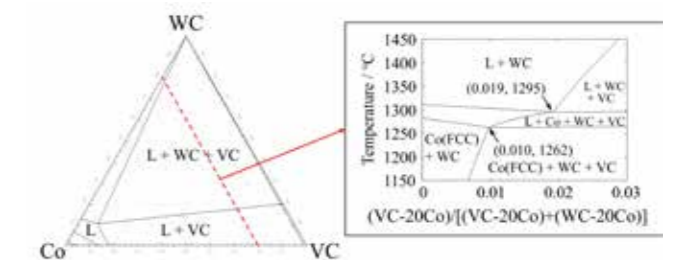


Fig. 4 WC-VC-Co pseudo-binary calculation phase diagram and (WC-20Co)-(VC-20Co) pseudo-binary calculation phase diagram.