

博士論文要旨

論文題名：粒子径制御プロセスによる 構造用材料の機械的特性改善に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科
機械システム専攻博士課程後期課程

ヌル ザリカ ビンティ カリル
Nur Zalikha Binti Khalil

粉末冶金法は、高融点材料の加工が可能、複合合金化が可能、複雑形状のニアネットシェイプの成型が可能であることなどから、工業的に広く普及している技術である。一方で、他の製造方法と比較して靱性確保が困難であることが課題である。靱性低下の要因は様々であるが、例えば高融点材料においては焼結性の低さ、複合合金では複合界面での接合不良に起因して、残留空孔が存在することがその主な要因である。この大きな課題に対して、本研究では、原料粉末の粒子に着目し、種々のパラメータを制御することによって構造用材料の機械的特性を改善することを目的とした。

炭化ケイ素 (SiC) は高温特性と耐摩耗性に優れることから多くの分野で使用されている。SiC は高融点材料 (約 2700°C) であるため、成型加工は粉末冶金法により行われるのが一般的であるが、SiC の焼結性が乏しいため、応用が限られることが現実である。本論文では、SiC の粒度分布から、粒径平均値や標準偏差などのパラメータを抽出し、それぞれのパラメータが焼結性に及ぼす影響について検討を行った。メカニカルミリングにより種々の粒度分布を有する SiC 粉末を作製して放電プラズマ焼結 (SPS) で焼結し、相対密度と曲げ強度測定により焼結性を評価した。その結果、初期粉末の相対分散を表す Coefficient of Variation (Cv 値) が高い粉末の方が焼結後の相対密度は高く、機械的特性が上昇したことから、初期粉末の Cv 値の大小が焼結性の指標となることを見いだした。

粉末冶金法を利用した新しい構造材料の創製手法に調和組織制御法がある。これは、軟質相と硬質相を複合化することで強度を上昇させるとともに、硬質相をネットワーク状に配置することで応力集中が緩和され延性が担保されるという新しい特性改善手法である。本論文では、純アルミをベースに、粒子径制御した SiC、ならびに Si を用いて、Al-SiC 系ならびに Al-Si 系の複合化について検討した。メカニカルミリングを用いて Al 粉末表面に SiC 粉末あるいは Si 粉末を均等に付着させて焼結することで、SiC あるいは Si を硬質相としたネットワーク状組織を形成することができた。種々の検討により十分な延性を保ちながら強度が上昇する条件を見だし、Al-SiC ならびに Al-Si の複合合金化と機械的特性の改善に成功した。

本研究では、構造用材料に粒子径制御することによって構造用材料の機械的特性の向上に成功した。

Abstract of Doctoral Thesis

Title : Study on Improvement of Mechanical Properties in Structural Materials by Particle Size Control Process

Doctoral Program in Advanced Mechanical Engineering and Robotics
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

ヌル ザリカ ビンティ カリル
Nur Zalikha Binti Khalil

Owing to its many advantages like the ability to process high-melting point materials, synthesis alloy/composite materials, and ability to obtain a near net shape product for complex materials, powder metallurgy (P/M) has been utilized in many industrial fields. However, when compared to other route, (P/M) route suffers in terms of securing good toughness properties in the final product. There are various factors attributing to the lacking of toughness in structural material. For example in high-melting point materials, it can be attributed to the poor sinterability while for composite materials, the remaining pores due to the poor joining in the boundary of the involving elemental might be the contributing factor. Focusing on the particle size of the base material, this thesis has described the works conducted to improve the mechanical properties in structural materials by controlling various processing parameters.

Silicon Carbide (SiC) ceramic has emerged as a very promising material due to its many exceptional properties like high thermal and corrosion resistance. However, due to its high melting point (approx. 2700°C), SiC suffers from poor sinterability that has limited its widespread applications. Therefore, an investigation has been carried out to clarify the relationship between SiC sinterability and mechanical properties with dispersion in particle size distribution of the initial powder. Several sets of powder having different particle size distribution with different variables (e.g: mean particle size and standard deviation) were prepared by mechanical milling followed by spark plasma sintering to make a compact. The sinterability and mechanical properties of the powder compacts were evaluated. A statistical parameter namely, Coefficient of Variation, Cv has also been introduced to best describe the relative dispersion in particles size distributions having different variables in such that the higher Cv value indicates higher relative dispersion in the initial powder. It is found that the sinterability and mechanical properties of sintered powder compact is improving with the increasing the Cv and it is envisaged that it is due to the enhanced packing structure in the initial powder.

Harmonic Structure concept is a new powder metallurgy fabrication approach for synthesizing structural material with superior mechanical properties. Essentially, it is a network structure of soft phase, which is enclosed by three dimensional interconnected network regions of hard phase structure which is proved to be effective in improving strength while inhibiting the stress localization in structural material. In present thesis, a network structure of hard phase network structure consisting of SiC/Si particles enclosing soft Al phase has been achieved by subjecting pure aluminum with SiC/Si particles to controlled mechanical milling followed by subsequent sintering to fabricate Al-Si and Al-SiC composite alloy. It has been discovered that these structures has successfully exhibited significant improvement in strength while retaining sufficient ductility.

Focusing on the particle size control, this thesis has described the works done to improve the mechanical properties of structural materials by controlling various processing parameters.