

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14051 号
------	---------------

氏 名 伊部 博之

論 文 題 目

超硬合金(WC-Co)のレーザ積層造形に関する研究
(Study on laser-powder-bed-fusion for cemented carbide material)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	小橋 眞
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	高田 尚記
委員	名古屋大学	シンクロtron光研究センター	准教授	伊藤 孝寛
委員	産業技術総合研究所	磁性粉末冶金研究センター	上級主任研究員	松本 章宏
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	山本 剛久

論文審査の結果の要旨

伊部博之君提出の論文「超硬合金（WC-Co）のレーザ積層造形に関する研究」は、超硬積層造形体の金型への適用を目標に、LPBF法による超硬合金材料の造形物の欠陥や脆性相の形成を抑制する組織制御に取り組んでいる。特異的な微視組織の形成過程を明らかにし、材料科学や熱力学の観点から積層造形体に存在する欠陥や脆性相を低減することで微視組織の均質化を実現している。本論文では、粉末材料の組成、および熱処理条件やLPBF法のプロセスパラメータの好適な条件を示すだけでなく、機械的特性をさらに向上するための指針を与えている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、超硬合金の特性と用途、レーザ積層造形の現状と課題について概説している。LPBF法で作製された超硬合金積層造形体は、ひび割れや気孔などの欠陥、W₂CやW₃Co₃Cに代表される脆性相を多く含む不均質な微視組織であるため、従来法の機械的特性から大きく劣る点を指摘している。超硬合金のLPBF法による積層造形の産業適用に向けて、低欠陥かつ均質な微視組織を両立する必要があることについて述べている。

第2章では、WC-25wt%Co 超硬合金積層造形体について、詳細な微視組織解析とシングルビード試験により、Co相の溶融のみが生じるWC-Co領域とWCまでもが分解・溶融するWC分解領域の2つの領域が造形物中に混在することを明らかにしている。また、計算状態図に基づく熱力学的考察によりWCとCoの融点の差およびレーザ照射中心部付近でのCoやCの揮発による組成のずれとその後の凝固過程から、超硬合金積層造形体の微視組織を理解できることを明らかにしている。

第3章では、WC-25mass%Co 積層造形体の均質なWC-Co二相組織を得るため、熱処理に着目し、熱処理温度と保持時間による積層造形体の微視組織および結晶相の変化がもたらす機械的特性への影響を述べている。As-built材でWC分解領域に非平衡で存在しているW₂CやW₃Co₃Cは1100℃以上の熱処理で消失することと、共晶点（1320℃）以上で気孔やクラックが減少することで造形物が緻密化することでビッカース硬度やヤング率の機械的特性が向上していることを明らかにしている。これは、LPBF法で作製された超硬積層造形体の産業適用への可能性を示す重要な知見である。

第4章では、WC-17mass%Coにグラファイトを添加することで炭素含有量を変化させた超硬粉末を作製し、粉末の炭素量が積層造形体の組織構造、結晶構造、機械的特性に与える影響について述べている。グラファイトを0.28%以上添加した粉末で作製された積層造形体は、熱処理温度が1380℃で液相+WCの領域に位置し、熱処理後にWC-Co二相の微細構造が得られることを示している。ビッカース硬度は熱処理によって向上するが、炭素量の増加に伴い硬度は低下している。ビッカース硬度は硬質なWCとW₃Co₃Cの面積率と高い相関性が有ることを明らかにしている。これは超硬積層造形体の機械的特性向上のために有用な知見である。

第5章では、超硬合金の積層造形体のWC分解領域の形成とWC粒子の粗大化を防ぐことが可能なレーザ照射条件を詳細に検討している。WC分解領域はレーザ出力が36Wの時のみに走査速度に関係なく出現しないという結果が得られ、レーザ出力依存が強いことを明らかにしている。これは造形時の到達温度を制御することでWC分解領域の形成を抑制できるという技術的な指針を示している。また、HIP処理後においてもWC粒子の著しい成長は確認されず、硬度（HRA）と抗折力は従来の粉末冶金法で作製された超硬合金と同等の機械的特性を達成することが明らかにされた。この結果も超硬積層造形体の産業適用に向けて有用な知見である。

第6章では、産業界で活用できる金型ほか高機能部材の造形技術の構築を目指し、LPBF法によって作製したWC-17mass%Coの超硬深絞りプレス金型の社会実装試験の結果を述べている。実装試験において、超硬積層造形で作製された金型が破損や異常以上摩耗することなく成型加工を行うことができおり、加工された製品の品質も従来の超硬金型と同等である結果を得ている。これまで超硬合金のLPBF法による積層造形は、造形性や積層造形体の欠陥等によって実用化は困難な技術であったが、実用可能な積層造形による超硬金型を作製することができたことは世界でも報告例が非常に少ない画期的な知見である。

第7章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文ではLPBF法によって作製された超硬合金積層造形体において、粉末の化学組成とレーザ照射条件、熱処理条件を系統的に調査し、計算状態図に基づく熱力学的考察を加えることで、低欠陥で均質な微視組織と高い機械的特性を得るための手法を明らかにしている。開発したLPBF法による深絞りプレス用金型の社会実装試験で実用化可能であることを紹介し、学術と応用の両面で成果を出している。これらの知見並びに得られた結果は、LPBF法によって製造される超硬合金積層造形体の産業適用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である伊部博之君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。