

金属焼結材料の3次元ネットワーク組織を用いた高靱性化に関する研究

重田, 雄二

<https://hdl.handle.net/2324/7182427>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (4)



氏 名 : 重田 雄二

論文名 : 金属焼結材料の 3 次元ネットワーク組織を用いた高靱性化に関する研究

区 分 : 甲

論文内容の要旨

本論文では、先在気孔への応力集中により機械的特性、とりわけ靱性が低下する焼結材料について、靱性向上の指針を得ることを目的として、応力の均一分散が可能な 3 次元ネットワーク組織形成手法を検討し、組織が引張靱性に及ぼす影響を解析した。本論文は 5 章から構成され、第 1 章で研究背景、第 5 章で結言をまとめている。第 2~4 章における内容は以下に示す通りである。

第 2 章では、レーザー積層溶融造形 (L-PBF) においてレーザー照射面内に形成される母相の 2 次元ネットワーク形態とその積層構造が引張靱性に及ぼす影響を解析した。純チタン L-PBF 材を対象として、高輝度 X 線 CT 撮影を行い、内部の 3 次元気孔形態と配置を画像解析により数値化し、引張靱性の支配因子を解析した。積層方向に垂直な方向に応力を負荷した引張強さおよび全伸びは、積層方向に応力を負荷した場合に比べて、造形条件毎のばらつきが小さく、全伸びが大きい傾向が確認され、積層面内の母相の 2 次元ネットワークによる応力分散効果が示唆された。一方、積層方向の引張特性のばらつき要因を検討するため、気孔形態との相関解析をおこなった。その結果、ランダムな気孔配置の焼結材料とは異なり、気孔率と 0.2%耐力の相関がみられず、積層造形材内部に局所的な気孔配置があることが示唆された。CT 像より積層方向に垂直な層内の局所気孔率を求めたところ、局所気孔率の変動し、低・中エネルギー密度で造形された試料での変動が大きい傾向が確認された。さらに、低・中エネルギー密度で造形された試料については、最も高い局所気孔率が試料の引張強さおよび全伸びと負の相関を示した。一方、高エネルギー密度で造形された試料については、局所気孔率ではなく最大気孔径が引張強さおよび全伸びと負の相関を示した。すなわち、引張靱性の支配因子は、局所気孔率の変動が大きい低・中エネルギー密度材では最低密度層への応力集中が、また、局所気孔率の変動が比較的小さい高エネルギー密度材では、最大気孔への応力集中が試料の引張靱性の支配因子であると見なされた。

第 3 章では、第 2 章で確認された局所的な気孔率の変動あるいは最大気孔の存在が引張変形および延性破壊き裂の発生機構の解明を目的として、中程度のエネルギー密度で造形した Ti L-PBF 材について、引張試験中に in-situ X 線 CT 観察を行った。その結果、局所気孔率最大となる局所層は、均一変形領域において同一であることが確認され、無負荷時の最低密度層の気孔分布が引張強さおよび均一伸びに影響を及ぼすことが明らかになった。局部変形過程においては、パーシステントホモロジー解析によって近距離での気孔配置の均一度を評価し、均一性が低い層と高い層の境界において 2 次ボイドが発生し、局所気孔率が高い 2 層が出現し、2 層に挟まれる領域でき裂が発生した。このことより、低密度の 2 層への応力集中により、挟まれた領域で応力の不均衡によるせん断応力が発生し、気孔連結が進み、き裂発生に発展したものと推定された。

第 4 章では、高強度の高合金相のネットワーク組織の引張靱性への影響解析を目的として、Cu 組成を 3mass%一定として、Fe-Cu 合金粉末中の Cu 量と合金粉末粒子表面に拡散接合させる純 Cu

の分配率を変えた Fe-Cu ハイブリッド鋼粉を用いて焼結体を試作した。その結果、Fe-2mass%合金鋼粉に 1mass%Cu 粉を拡散接合させた系において、伸びが低下することなしに、0.2%耐力、引張強さが著しく向上し、引張靱性が著しく改善された。また、焼結時の熱膨張曲線から、上記の系においては昇温中に発生する Cu 液相量が最適化されることによって、粒子間への液相浸潤による体積膨張が抑制され、かつ Cu 液相を介した焼結収縮によって、気孔率が最小となることが確認された。また、電子プローブマイクロアナライザーによる Cu 分布解析により、気孔に分断されることなく発達した Cu 濃化相の 3 次元ネットワーク形成、また、Cu 濃化相の TEM 観察によって ϵ -Cu の微細析出物が確認された。このことより、析出強化された高強度の Cu 濃化相 3 次元ネットワーク形成によって、応力の均一分散が実現し、引張靱性が向上したことが示唆された。

以上により母相（気孔）の 2 次元ネットワーク積層構造および高強度高合金相の 3 次元ネットワーク形成によって焼結材の引張靱性の向上が可能であることを示した。これらの知見は、金属焼結材料あるいは多孔質金属材料の高靱性化のための材料設計の指針となるものと考ええる。