

【学位論文審査の要旨】

本論文は、航空宇宙分野、および、エネルギー分野の耐熱合金として幅広く使用されているニッケル基超合金を対象とし、その積層造形材の微視組織が高温強度特性に及ぼす影響を明らかにしたものである。ニッケル基超合金は、高温強度特性および耐環境性に優れた合金であり、近年トポロジー最適化および高価な耐熱合金の材料歩留まり向上の点から、金属3Dプリンタの活用が検討されている。金属3Dプリンタ法の中でも選択的レーザー溶融法が金属製品加工において注目されている。しかし、選択的レーザー溶融法で造形したニッケル基超合金は、プロセス中に生じる急加熱・急冷により生じる高密度転位と微細析出物からなるセル状組織形成、および粉末製造時に混入する酸素により、高温で延性が低下する問題がある。これらの問題には現在でも多くの課題が残されている。

本論文では、これらの課題の解決を目的として、析出強化型合金と固溶強化型合金を供試材として、積層造形ニッケル基超合金の組織観察と高温強度特性について調べた。本論文で得られた成果は以下のように要約できる。

(1) 選択的レーザー溶融法による造形後の状態では、プロセス中に大きな温度勾配が生じるため、高密度転位と析出からなるセル組織の形成が観察された。後熱処理による特性改善を目途として、2つの熱処理条件を行った。すなわち、1160°Cでの低温溶体化熱処理(LTH)と1240°Cでの高温溶体化熱処理(HTH)である。造形まま材およびLTH熱処理材では、クリープ寿命が非常に短い、伸びは良好であった。造形まま材のクリープ寿命が短いのは、高い転位密度と試験中に形成された小さな再結晶粒が原因であった。LTH熱処理材のクリープ寿命が短いのは、粒界での望ましくない δ 相の形成と、試験中の微細な再結晶粒によるものであった。HTH熱処理材のクリープ寿命はLTH熱処理材の2.7倍であった。これはセル組織の高密度転位が駆動力となり、再結晶が生じて転位密度が大幅に低下してセル状組織が消失したためである。再結晶をとまなう熱処理が造形材のクリープ特性改善に有効であることを示した。

(2) 析出強化型合金でイットリウム添加により混入酸素を固定化してクリープ特性を改善することが明らかになっているため、この研究では、固溶強化ニッケル基超合金の選択的レーザー溶融材に関してイットリウムとシリコンの添加量を変え、凝固割れとクリープ特性について調べた。イットリウムとシリコンが過剰に添加されると凝固偏析を生じ凝固割れを誘発するため、適正な量の元素添加が必要であることを明らかにした。また、イットリウム添加により、粒内および粒界における微細な炭化物の析出と、混入酸素の固定化により、複合的にクリープ特性を改善することを明らかにした。

以上のように、本研究で得られた成果は工学的に高く評価でき、材料工学分野に対して貢献が大きいものと考えられる。よって、本論文は博士(工学)の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる。

(最終試験又は試験の結果)

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上（対面およびオンライン）で論文発表を行い、主査および3名の副査を含む35名（対面16名およびオンライン19名）の出席者による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文および関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。