OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Effects of Strain Rate and Thermal Processing on Mechanical Properties of 17-4 PH Stainless Steel Processed by Selective Laser Melting
Author(s)	Lebrun, Tyler Christopher
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52050
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　（　Tyler Christopher LeBrun　）	
論文題名	Effects of Strain Rate and Thermal Processing on Mechanical Properties of 17-4 PH Stainless Steel Processed by Selective Laser Melting （選択的レーザー溶融法により製作された17-4 PHステンレス鋼の機械的性質に及ぼすひずみ速度と熱処理の影響）

論文内容の要旨

The following thesis presents an investigation into the mechanical behavior of 17-4 PH stainless steel powder processed by selective laser melting, an additive manufacturing technology. Tensile evaluation of material produced as part of this study was performed across a range of strain rates to identify the relationship between mechanical performance and this processing method. In addition to evaluating the strain rate sensitivity, the efficacy of post-production aging heat treatments was measured for specimens processed in accordance to and apart from industry standards. Measurements made of the as-fabricated and thermally processed microstructure indicate a high volume fraction of metastable austenite amidst the primary lath martensite. The presence of this phase effects both mechanical performance and thermal processing results

Relatively high volume fractions of face centered cubic austenite in excess of 36% were measured within the as-fabricated structure. Retention of this phase was found to significantly reduce yield strength of the as-fabricated material. However, the yield stress was found to monotonically increase with strain rate. Ultimate tensile strength was found to be susceptible to temperature that occurs with plastic deformation. In tensile testing where the strain rate is sufficiently high, the increase in specimen temperature due to adiabatic heating prevents the strain-induced transformation of austenite to martensite. This inhibits the transformation-induced plasticity observed in isothermal tensile evaluation at quasi-static strain rates. This thermal stabilization mechanism was verified by elevated temperature testing at quasi-static strain rates.

Measurements of alloy distribution in the as-fabricated condition are also presented in addition to characterization by transmission electron, scanning electron, and optical microscopy. Consistent segregation of austenite stabilizing elements is found along fusion boundaries between each melt pool as developed during selective laser melting. However, the volume fraction of austenite retention measured precludes this as the primary source of its stabilization. The evolution of the dual phase material and the formation of the desired precipitation hardening with thermal processing are investigated. From tensile testing it is found that relative strength increases are reduced for specimens with initially high volume fractions of austenite. Fully martensitic specimens following solution heat treatment achieve greater increases in relative strength via aging. Austenite significantly inhibits age hardening by maintaining higher solubility of the precipitating alloying element that is otherwise in a saturated state in the primary martensite. Additionally, non-standard thermal processing progressively revert austenite to martensite by relieving residual thermal stresses related to the selective laser melting process. This significantly alters the mechanical performance at yield and subsequent work hardening in these cases.

様式7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　Tyler Christopher LeBrun　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	小林　秀敏
	副査　教授	平尾　雅彦
	副査　教授	尾方　成信

論文審査の結果の要旨

この学位論文は、選択的レーザー溶融法（レーザー積層造形法）により、17-4 PHステンレス粉末から製作された鋼材の機械的性質に関する研究であり、材料の製作法と機械的特性の関係を、広範囲なひずみ速度域における引張試験により明らかにしている。ひずみ速度依存性に加えて、時効処理の有効性についても、工業規格とは異なる小型試験片を用いて調べられている。また、本論文は、レーザー溶融法により製作されたままの材料およびそれに熱処理を施した材料の組織観察から、かなりの割合で準安定なオーステナイト相が、基本となるラス・マルテンサイト組織の中に存在していて、このオーステナイト相の存在が、材料全体の機械的性質や熱処理の結果に影響を及ぼしていることも明らかにしている。

レーザー溶融法により製作されたままで熱処理していない材料では、36%を超える、比較的高い含有率の面心立方格子のオーステナイト相が観察され、降伏応力は、この相に起因して著しく低下しているが、ひずみ速度の増加に伴い降伏応力は上昇することが明らかになった。一方、引張強さは、塑性変形中の温度変化の影響を受けやすく、ひずみ速度が非常に速い場合は、試験片の温度が断熱的に上昇し、オーステナイトのひずみ誘起マルテンサイト変態を抑制する。このため、等温的な準静的ひずみ速度において観察された、マルテンサイト変態による塑性変形（強度上昇）は抑制された。この熱的安定化機構は、準静的速度における高温引張試験によって証明された。

さらに、本論文では、透過電子顕微鏡（TEM）、走査型電子顕微鏡（SEM）、光学顕微鏡を用いて、レーザー溶融法により製作されたままの材料内部の合金成分分布も調べられており、オーステナイト安定相が、レーザー溶融時にできる個々の局部的な溶湯の境界に沿って観察された。この残留オーステナイト相の比較的高い体積分率は、初期マルテンサイト相の安定化を妨げている。また、オーステナイトとマルテンサイトの二相材料の変化や、時効処理による望み通りの析出硬化の形成が調べられ、引張試験によって、試験片に最初から高い体積分率で存在するオーステナイト相が、強度上昇を抑制していることが、明らかになった。溶体化処理によって完全にマルテンサイト化した試験片は、時効処理によって、著しい強度上昇を示した。オーステナイトは、初期マルテンサイト内に分布している析出合金要素の高い溶融性を維持することで、時効硬化を著しく抑制している。さらに、規格外の熱処理、即ち、レーザー溶融法により製作されたままの材料を、溶体化処理しないで、時効処理のみ実施することにより、レーザー溶融法に関連する残留応力が解放され、オーステナイトからマルテンサイトへの回帰が生じた。このことは、降伏現象やそれに続く加工硬化現象に著しい変化をもたらした。

以上の事から、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。