

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Investigation of Plastic Deformation Behavior with the Portevin-Le Chatelier Effect in Austenitic Stainless Steel
著者(和文)	LEESeungyong
Author(English)	Seungyong Lee
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11768号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中田 伸生,尾中 晋,木村 好里,寺田 芳弘,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11768号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	LEE Seungyong	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	中田 伸生	准教授	村石 信二	准教授
	審査員	尾中 晋	教授		
		木村 好里	教授		
寺田 芳弘		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Investigation of Plastic Deformation Behavior with the Portevin-Le Chatelier Effect in Austenitic Stainless Steel」と題し、全5章で構成されている。

第1章「Research Background」では、Portevin-Le Chatelier (PLC) 効果に関するこれまでの研究を概観し、動的ひずみ時効 (DSA) に基づいたセレーショントypesの温度・ひずみ速度依存性および DIC の有用性を説明している。そして、DSA とセレーションではスケールに大きな差異があることを指摘し、この差異を埋めるメゾスケールでの観察手法として、デジタル画像相関法 (DIC) の有用性が述べられている。

第2章「Macroscopic and Microscopic Characterizations of the Portevin-Le Chatelier Effect in Austenitic Stainless Steel using High-Temperature Digital Image Correlation Analysis」では、Fe-19Cr-13Ni-0.2C 合金 (mass%) を用いて、723~823 K, $1.0 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ の条件下で引張試験を実施し、その PLC 効果について DIC を用いた詳細な解析を実施した。DIC を用いることで、高温に由来した試験機の剛性低下の効果を除外しつつ、試験片の平均ひずみ/ひずみ速度が正確に評価できることが示された。さらに、Cr のパイプ拡散に由来した A タイプ PLC バンドが試験片を一方方向に順次往来する様子を可視化し、PLC バンド内の局所的なひずみ/ひずみ速度が連続的に増加することを明らかにした。その結果、PLC バンド内の局所的なひずみ速度の増加が DSA ならびにこれによる加工硬化の消失を招き、くびれ変形に至ることを証明し、PLC 効果に起因した破壊条件の見積を提案した。

第3章「Serrated Flow Accompanied with Dynamic Type Transition of the Portevin-Le Chatelier Effect in Austenitic Stainless Steel」では、Fe-19Cr-13Ni-0.2C 合金を用いて、一定の温度・ひずみ速度において生じる、PLC 効果の動的な遷移挙動について DIC を用いて調査した。供試材は 473~823 K において C のパイプ拡散に由来した DSA を示し、これによるセレーションが発現したが、一定のひずみ速度条件下においてもセレーションのタイプが連続的に変化する動的遷移現象が確認された。そして、DIC による解析の結果、セレーションのタイプ変化が PLC バンドの生成挙動に対応しており、PLC バンドの生成挙動が "jumping", "hopping", "walking" と変化するのに対応して、セレーションが C, B, A タイプへとそれぞれ遷移することが明らかとなった。一方で、一定のひずみ速度条件化でも試験片の平均

ひずみ速度が連続的に変化することに注目し、PLCバンドの生成・伝播挙動に及ぼすひずみ速度の影響について、可動転位密度の時空間分布に関する数値モデリングを実施した。その結果、試験片の連続性 (spatial coupling) に依存した応力勾配の効果により、ひずみ速度の増加とともに PLCバンドの生成・伝播挙動が実験結果を満足するように変化することを示している。

第4章「Effect of Grain Size and Interstitial Atoms on the Portevin-Le Chatelier Effect in Austenitic Stainless Steel」では、PLC効果に及ぼす結晶粒径ならびに侵入型溶質元素の効果を調査するため、結晶粒径を様々に変化させた Fe-19Cr-13Ni-0.2C 合金 (HCS) と Fe-19Cr-13Ni-0.2N 合金 (HNS) を用いて、その変形挙動を 773 K, 823 K を中心に調査した。結晶粒径の微細化は、セレーションのタイプや PLCバンドの生成・伝播挙動に大きく影響しないものの、セレーションが発現する臨界ひずみ量の低下をもたらすことが確認され、結晶粒界が可動転位の生成を促進する有効な核生成サイトであることが示唆された。一方で、DSA に対する活性化エネルギーを見積もったところ、HNS は HCS に比べて顕著に大きな値を示した。これは、Cr と N の強い相互作用に起因しており、HNS がより高温まで DSA ならびにこれに由来した PLC 効果を発現する可能性が示している。

第5章「Conclusions and Remarks」では、本博士論文についての総括と、今後の展望について述べられている。

以上を要するに本論文は、オーステナイト系ステンレス鋼における PLC 効果が DSA を起源とする現象であり、可動転位の運動によって生じる PLC バンドの生成・伝播挙動がひずみ速度や温度などの変形条件に依存して動的に変化し、これがセレーションのタイプ変化をもたらすことを実験および計算の両面から示したものである。さらに、相互作用を示す侵入型合金元素と置換型合金元素を適切に選択することで、オーステナイト系ステンレス鋼の高温力学特性を改善することが可能であることを示している。

得られた知見は金属材料の塑性変形挙動の解明に貢献するとともに、材料の機能向上のための新たな材料設計についての指針を与えるものであり、工学上・工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があると認められる。