Osaka University Knowledge Archive

Title	高出力レーザの水中照射による金属材料表面の残留応力改善メカニズムの研究
Author(s)	佐野, 雄二
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43407
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏　　名　佐　野　雄　二（さ の ゆう じ）

博士の専攻分野の名称　博　士（工　学）

学　位　記　番　号　第　17178　号

学位授与年月日　平成14年3月25日

学位授与の要件　学位規則第4条第2項該当

学　位　論　文　名　**高出力レーザの水中照射による金属材料表面の残留応力改善メカニズムの研究**

論　文　審　査　委　員　（主査）
教　授　松縄　朗

（副査）
教　授　宮本　勇　　教　授　中塚　正大　　教　授　池内　建二
助教授　片山　聖二

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は、高出力パルスレーザの水中照射による金属材料表面の残留応力改善のメカニズムを解明し、原子炉内構造物の応力腐食割れ（SCC）に対する有効な予防保全技術として確立するために行った研究の成果をまとめたものであり、7章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、空気中および水中の金属材料に高出力のナノ秒パルスレーザを照射して、発生したプラズマを観察することにより、水によるプラズマの閉じ込めおよび高圧化の効果を確認した。また、プラズマの圧力を評価した結果、水中ではプラズマの圧力が金属材料の降伏応力をはるかに上回り、高出力パルスレーザの照射によって表面の残留応力改善が可能であることを示した。

第3章では、原子炉内構造物の材料として主に使用されている304系オーステナイトステンレス鋼（SUS304）に対して、レーザの照射条件と残留応力の改善効果との関連を実験的に調べた。その結果、材料の内部では、高圧のプラズマによって誘起される衝撃波の伝播が重要であることが明らかになった。一方、材料のごく表層では、レーザ照射による熱影響と衝撃波による塑性変形の影響とのバランスによって残留応力の改善効果が決定されることがわかった。

第4章では、プラズマの圧力を外力境界条件として有限要素法による弾塑性動解析を行うことにより、材料中に誘起される衝撃波の伝播の様子を明らかにした。また、残留応力の深さ分布について計算結果と実験との比較評価を行うことにより、材料内部の残留応力改善が衝撃波の通過による塑性変形に基づくものであることを明らかにした。

第5章では、種々の金属学的な評価試験を行うことにより、高出力ナノ秒パルスレーザの照射が材料（SUS304）に対して悪影響を与えないことを確認した。また、原子炉内の環境を模擬した応力腐食割れ（SCC）の加速試験を行った。その結果、レーザ照射による残留応力の改善によりSCCの発生を防止できることを確認した。

第6章では、原子炉内構造物を模擬した溶接継手に対して残留応力改善の効果を確認するとともに、第5章までの成果に基づいて開発した原子炉炉心シュラウド遠隔施工装置の概要、原子炉の実規模モックアップを使用した水中組合せ施工試験の概要、および稼動中の原子力発電所への適用状況をまとめ、本技術の有用性を示した。

第7章では、本研究において得られた知見を総括し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高出力ナノ秒パルスレーザの水中照射による金属材料表面の残留応力改善法（レーザピーニング法）のメカニズムを解明すると共に、原子炉内構造物の応力腐食割れに対する有効な予防保全技術確立のために行った実験的および解析的な研究をまとめたものである。得られた成果の要約を次に示す。

(1)ナノ秒のQスイッチYAGレーザの第2高調波を水中で金属表面に照射することにより、レーザ誘起プラズマの圧力が2 GPaを越えるまで高圧化し、ステンレス鋼の降伏応力を上回るため、金属中を伝播する衝撃波により金属表面層に残留圧縮応力を形成できることを確認している。

(2)材料表面の残留応力値は、レーザ照射による熱影響と衝撃波による塑性変形の影響が重畳し、両者のバランスにより決まること、および施工部の圧縮応力の形成は面内の施工部外側からの拘束よりも材料内部からの拘束が支配的であることを明らかにしている。

(3)プラズマの圧力を境界条件とした弾塑性解析により残留圧縮応力の形成メカニズムを明らかにすると共に、実験結果との対比から材料物性や形状に応じてレーザ照射条件設定に活用できることを示している。

(4)レーザピーニング処理を受けたステンレス鋼の組織観察、応力腐食割れ（SCC）加速試験およびHe注入材を用いた試験を行い、レーザピーニングが材料に悪影響を与えることなくSCC発生を未然に防止できること、また中性子照射材への適用も可能であることを明らかにしている。

(5)開発したレーザピーニング法を、沸騰水型原子炉（BWR）炉心シュラウドの溶接熱影響部の耐SCC改善を図るための予防保全工事に世界で初めて適用し、効果を確認している。

以上のように、本論文は高出力ナノ秒パルスレーザの水中照射による金属材料表面の残留応力改善について、原理の実証から、レーザ照射条件の最適化、メカニズムの検討、材料に対する影響評価、実用システムの開発、および実原子炉の応力腐食割れ対策への適用までの一連の成果をまとめたもので、機械物理工学および生産加工工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値有るものと認める。