

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	構造物の長寿命化を目的としたレーザピーニングの圧縮残留応力の付与効果の有効性に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	角谷利恵
Author(English)	Rie Sumiya
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:乙第4143号, 授与年月日:2017年7月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:岸本 喜久雄,中村 春夫,井上 裕嗣,水谷 義弘,因幡 和晃
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4143号, Conferred date:2017/7/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

論文要旨 (和文2000字程度)

報告番号	乙 第 号	氏 名	角谷利恵
(要 旨) 溶接や加工等で生じる引張残留応力は、SCCの感受性や疲労強度等に影響を及ぼすことが知られており、圧縮残留応力の付与はそれらに対して改善効果が期待できる。しかしながら、残留応力は機器の使用環境により緩和することが知られており、実機相当の材料や環境でその緩和挙動を確認することが機器の信頼性向上のために求められている。 第1章においては、残留応力改善方法とSCC発生予防対策、疲労強度改善、クリープ破断寿命延伸への適用検討例および圧縮残留応力付与効果の持続性評価についての調査結果を示した。その結果、レーザピーニング (LP) により付与した圧縮残留応力の持続性を示す系統的なデータ取得の必要性を把握した。 第2章においては、原子炉炉内機器の構成材料であるSUS316L試験片にLPを施工し、室温および288℃で応力を負荷して、負荷前後の表面残留応力をX線回折法にて測定、負荷応力が表面の圧縮残留応力に及ぼす影響を評価した。その結果、LP施工後表面の高い圧縮残留応力は、圧縮よりも引張応力負荷でより大きく変化し、0.2%耐力相当の応力を負荷しても圧縮残留応力が維持されることがわかった。繰り返し負荷による変化はほとんど認められなかった。これらの緩和のメカニズムについてFEM解析結果で考察し、表面残留応力の変化を内部残留応力の再分布で説明できることを示した。また、実機相当の板厚の試験片を想定しても、全断面に負荷される応力が0.2%耐力以下であれば、圧縮残留応力が維持されることを示した。 第3章においては、ガスタービンのホイール材として使用されているNi基超合金Alloy706の試験片で450℃から630℃までの熱時効処理試験を実施し、ショットピーニング (SP) 材およびLP材の残留応力緩和挙動を評価するとともに、予測手法を検討した。その結果、いずれの熱時効試験後においても表面および内部の圧縮残留応力が維持されていることを確認した。表面残留応力の変化を、機械的特性とクリープひずみ式で評価をして、機械的特性の温度依存性が支配的であること、すなわち、残留応力の大きさを保持温度の弾性限度とヤング率から評価可能なことを示した。また、LP材のように残留応力が方向により異なる場合には、Mises相当応力で残留応力緩和量を評価できることを示した。さらに、残留応力の方向性を制御することで、1方向に高い圧縮残留応力を残すことができる可能性を示した。 第4章においては、第3章と同じ材料の試験片にSPおよびLPを行い、450℃ (1000MPa) と500℃ (900MPa) で応力熱時効試験を実施し、試験前後の残留応力を測定、表面残留応力の変化を評価して、クリープ破断寿命に対する考察を行った。試験の結果、き裂の発生位置は表面であった。450℃で1000MPaの応力を負荷した後の表面残留応力はSP、LPともほぼ0になっていたものの、500℃で0.2%耐力を超える900MPaの応力を負荷しても表面の残留応力は圧縮であった。450℃においては未施工材の破断時間のばらつきが大きくピーニングの効果を確認できなかったが、500℃においてはSP材の破断時間			

は未施工材の破断時間よりも長く、LP材の試験中断時間はさらに長いことから、ピーニングの効果が示唆された。試験後の圧縮残留応力とEBSDで観察をした残留ひずみの大きさが、破断寿命向上に影響を及ぼしていると考えられる。

第5章においては、LPを橋梁等、実際の大型構造物に容易に施工可能にするための基礎的研究として、気中でノズルタイプのLP施工（気中LP）の検討を行い、内部残留応力と疲労寿命に及ぼす影響を検討した。その結果、気中LPでも、水中施工と同等の大きさ、深さの圧縮残留応力が生成されることを確認した。また、パルスエネルギーが小さくなると圧縮残留応力の深さが浅くなる傾向があるものの、20mJ でも比較的大きな表面圧縮残留応力が生成されることがわかった。HT780の溶接継手材にLP施工をして疲労試験を実施した結果、パルスエネルギーが高くなると疲労寿命が長くなることが明らかとなった。これらの結果から、圧縮残留応力の深さが溶接部の疲労寿命に大きな影響を及ぼしていることが示された。

以上、LP材の残留応力緩和挙動に関しては、全断面に0.2%耐力を超える応力を負荷しても圧縮残留応力が残存すること、また、クリープ温度域においても圧縮残留応力が残存することを明確に示したことが本研究の成果と考える。なお、文献調査においては引張よりも圧縮負荷で緩和量が大きいことに対して、SUS316Lでは引張負荷で緩和量が大きく、緩和挙動に対する材料依存性があることがわかり、今後は、その違いをメカニズムから明確にする必要があると考える。さらに、LPのように残留応力に方向性がある場合には、残留応力のモデル化の確立が緩和挙動評価やほかの評価に役立つものと考えられる。加えて、気中LPの適用可能性を示唆できたことは、今後のLPの展開を考えると有意義なことと考える。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(論文博士)

論 文 要 旨 (英 文)

(300語程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	角谷利恵
(要 旨) It is known that residual stress affects sensitivity of stress corrosion cracking(SCC) and fatigue strength. The compressive residual stress can improve such material properties. Laser peening(LP) is one of the residual stress improvement processes, which is used for the nuclear power plant components in order to prevent SCC initiation. On the other hand, residual stress is known to be relaxed at elevated temperature and under stress loading condition. In order to confirm the reliability of component, it is required that residual stress relaxation behavior is evaluated based on the material and temperature equivalent to actual plant. Therefore, evaluations were carried out using Type316L stainless steel which is used for the reactor internals in nuclear power plant and Alloy706 which is used for gas turbine wheel. Residual stress was measured by X-ray diffraction method. Using the specimen of Type316L, it was confirmed that the compressive residual stress remained after applying uniform stress larger than 0.2 % proof stress at both room temperature and 288°C. In addition, relaxation mechanism due to plastic strain generation is showed by FEM analysis results simulating the loading test. Using the specimens of Alloy706, it was also confirmed that the compressive residual stress remained after applying uniform stress larger than 0.2% proof stress at 450°C and 500°C. Compressive residual stresses were obtained after thermal aging treatment tests which were performed at maximum temperature of 630°C and prediction method of stress relaxation was showed. Generally, LP is performed in the water environment. In order to apply LP to large structure such as bridges, an effect of LP to HT780 was examined in air environment using water nozzle. As a result, it was able to obtain the compressive residual stress distribution equivalent to that of LP in water environment and an improvement effect on fatigue strength was confirmed. This study showed the sustainability of compressive residual stress and the possibility of LP in air, and clarified future problem.				

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).