

FEMTOSECOND FEL PREVENTION FOR COLD-WORKED SCC FAILURES OF NUCLEAR REACTORS

Eisuke MINEHARA, Akihiko NISHIMURA, Takashi TSUKADA
Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195 JAPAN

Abstract

In order to prevent a cold-worked stress corrosion cracking(SCC) failure in the boiling water reactor internals unavoidably originated from their cold-working in the factory, we can apply femtosecond lasers of the low average power Ti: Sapphire laser, the JAERI 2kW high average power free-electron laser and others to peel off and remove two SCC origins of the cold-worked and the cracking susceptible material, and residual tensile stress in hardened and stretched surface of low-carbon stainless steel samples for nuclear reactor internals as a proof of principle experiment except for the third origin of corrosive environment. Because a 143 °C and 43% MgCl₂ hot solution SCC test was performed for the samples to simulate the cold-worked SCC failures of the internals to show no crack at the laser-peeled off strip on the cold-worked side and hundred-thousands of cracks at the non-peeled off on the same side, it has been successfully demonstrated that the femtosecond lasers could clearly remove the two SCC origins and could resultantly prevent the cold-worked SCC.

フェムト秒FELを用いた原子炉材冷間加工応力腐食割れ防止技術

冷間加工 (CW)は低温での切削、機械的除去等であり、引張残留応力と割れ感受性の高い硬化層が表面に発生する。冷間加工応力腐食割れ (CWSSC)は、1)冷間加工硬化層による高い表面割れ感受性と2)引張残留応力と3)腐食環境により発生し、構造体を破壊する。フェムト秒レーザーで原子炉用ステンレス鋼の1)と2)を非熱除去[1]し、新たな両者の発生が無いことを確認した、さらにJISのSCC試験をおこなった。この結果、非熱的に(BWRの運転温度300度C程度以下の温度で非熱昇華した。)、残留応力とCWSSC感受性の高い表面硬化層の除去が行われた。実験室規模の小面積非熱除去では、レーザー非熱除去部はSCCの発生は無く、冷間加工部非除去部分は図1の様に10万個以上のSCCが見つかった。

金属製大型構造物の製造において、通常のいかなる大規模冷間機械加工方法を用いても加工時の極微局所における摩擦熱とこれに伴う熱的冶金的な変性によりその表面に応力腐食割れに高い感受性を持つ硬化層と引っ張り残留応力が発生することは不可避であった。また、機械的特性を劣化させず、このような事象を避け得る非熱加工が可能なフェムト秒レーザーは平均出力が本質的に微弱で高い繰り返しに耐えることができない為、今までこのような大規模応用は不可能であった。我々は、原研の高平均出力1kW級フェムト秒レーザー[2]を世界で唯一実現できる超伝導エネルギー回収型リニアック自由電子レーザーを用いて原子炉のシュラウド等で問題となっている応力腐食割れ[3]の発生原因と考えられる表面硬化層と引っ張り残留応力を非熱除去する方法を開発している。また新規の炉製造にこの高平均出力自由電子レーザーを用いれば、将来の応力腐食割れの

原因となる表面に感受性の高い硬化層と引っ張り残留応力を発生させない加工が可能となると考えられる。

目的のフェムト秒1kW級レーザーの高速処理を行う前に、非熱フェムト秒レーザーであるチタンサファイアレーザー用いて予備的に非熱除去し、X線回折と硬度測定により残留応力と感受性の高い硬化層が非熱除去されていることを確認した。また、これらに143°Cで沸騰する43%塩化マグネシウム浸漬SCC試験を行った結果、レーザー非熱除去した部分に大きな防止効果が確認された。講演ではFEL、計測装置、実験計画の詳細と、既に得られた結果を議論し、紹介する。

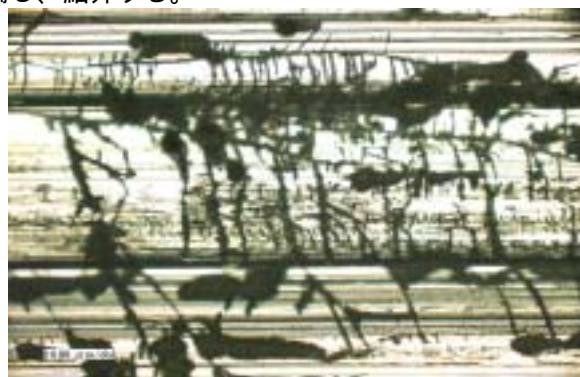


図1、応力腐食割れ試験後の冷間加工ステンレス鋼表面。
参考文献

- [1] C. Momma et al., Optics Comm.129, 134(1996).
- [2] N. Nishimori et. al., Physical Review Letters, vol86, No.25, p.5707-5710 (2001).
- [3] T. Tsukada et. al., JAERI-Conf 2003-014(2003)119-131..