

SUS316L 鋼の表面残留応力に及ぼす機械加工の影響

Effect of Surface Grinding on Residual Stress in Low Carbon Austenitic Stainless Steel SUS316L

(財) 発電設備技術検査協会
兵庫県立大学

日本原子力研究所
名古屋大学

中東重雄 Shigeo NAKAHIGASHI
山本厚之 Atsuyukitu YAMAMOTO
山田孝幸 Takayuki YAMADA
劉 莉 Lin Liu
寺澤倫孝 Mititaka TERASAWA
三田村徹 Tohru MITAMURA
椿野晴繁 Harushige TSUBAKINO
菖蒲敬久 Takahisa SHOBU
秋庭義明 Yoshiaki AKINIWA

Suppressing the stress corrosion cracking by reducing carbon contents in austenitic stainless steels seems to be not effective on core shrouds used in boiling water reactor in Japan. Trans-granular cracking was found out in the shrouds. To clarify a mechanism of the cracking, stress measurement on specimens under stretched condition in hot water has been attempted in the present study. An in-situ device for diffraction measurements in synchrotron radiation facility has been developed by the present authors, and the experiments have been carried out in SPring-8. The specimen of SUS316 steel was solution heat treated and surface-ground. Side inclination method was applied for measuring stress exerted in the specimen. A $2\theta - \sin^2\psi$ plot showed that tensile stress was induced.

Keywords: stress corrosion cracking, SUS316L, stress measurement, SPring-8, synchrotron radiation,

1. 緒言

オーステナイト系ステンレス鋼で代表されるSUS304やSUS316では、溶接の熱影響によるCr炭化物の形成が粒界の耐食性を著しく低下させ、粒界型応力腐食割れ(IGSCC)の原因となっている。そこで低炭素のステンレス鋼であるSUS304L鋼やSUS316L鋼が開発され、沸騰水型原子炉(BWR)の炉心シラウドや再循環系配管などの材料として使用されている。

しかし近年、BWRのSUS316L鋼製シラウドに割れが認められ、これらの割れは応力腐食割れ(SCC)と結論された。この割れは、粒内割れを起点としており、その後粒界に沿って進展して

いる。粒内割れ(TGSCC)が発生している表面層の硬さは高く Hv300以上であること、また粒界割れ(IGSCC)が生じている組織は、非鋭敏化組織をしている。表面層の高硬度は、シラウド製造時の表面機械加工や溶接後の表面研削により生じたと考えられ、それによって生じる残留応力が強く影響していると思われる。

そこで本研究では、放射光を用いて表面残留応力およびその分布を測定し、加工組織との関係を調べた。また、高温高压純水中で引張応力を付与しながら in-situ で応力分布測定を行い、割れ発生との相関について調べた。

2. 実験方法

実験に用いた試料は、低炭素オーステナイト系ステンレス鋼SUS316Lで、溶体化熱処理(1323K、0.9ks)後、冷間圧延(20%~80%)および平面研削(#30、100、220)加工を行い、硬さ測定、集合

連絡先：中東重雄、〒230-0044 横浜市鶴見区弁天町14-1、溶接・非破壊検査技術センター、電話045-511-2751

組織および表面残留応力について調べた。集合組織は、後方散乱型電子線回折パターン（EBSP）法によって調べた。残留応力測定は、SPring-8 の放射光を用いて測定した。また、BWR 炉水環境（573K、8.5MP）を模擬した環境で引張応力を付与しながら in-situ にて表面残留応力を測定する応力測定装置を試作し、SPring-8 放射光実験セル内に設置し測定を行った。図 1 に試作した装置の概略図および図 2 に放射光入射窓から見た試験片の外観を示す。放射光による応力測定は、側傾法 ($2\theta - \sin^2 \phi$ 法) を用いた。

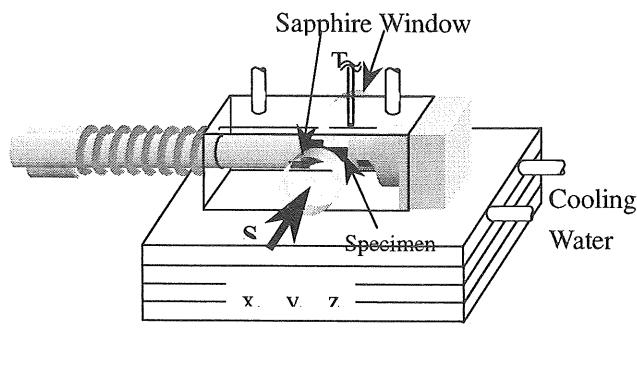


図 1 高温高压水中 in-situ 応力試験装置の概略図

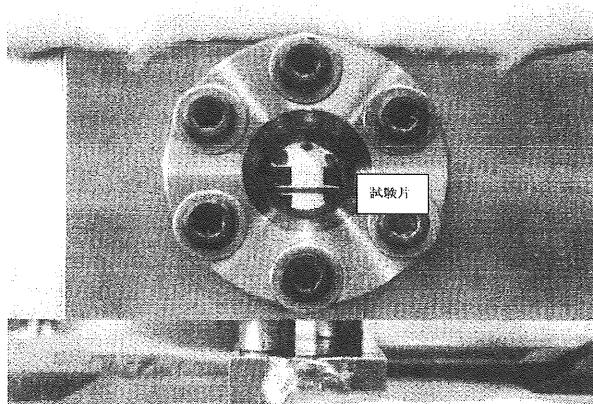


図 2 in-situ 応力試験装置の入射光窓

3. 実験結果および検討

SUS316L 鋼に #30 砥石により平面研削した場合、表面近傍に多くのすべり帯が形成された加工変質層が観察された。図 3 には SEM による断面ミクロ組織観察結果を示す。表面近傍の組織は、

電子回折の結果より微細な結晶粒帶であることを見確認した。またその帶域中には、研削によって形成された微小なクラックが散見される。このような微小クラックの存在は TGSCC の起点となる可能性は大であると考える。

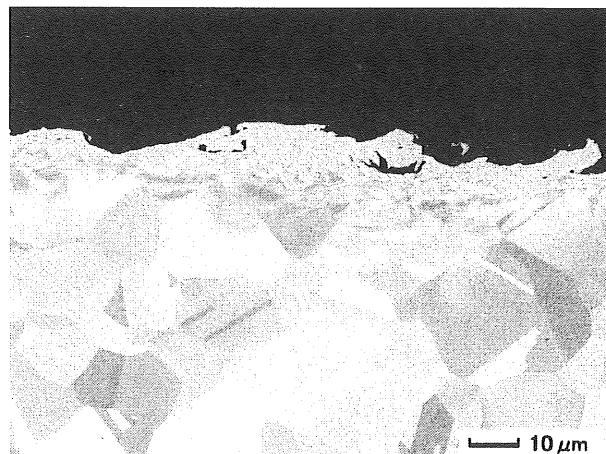


図 3 #30 砥石研削した SUS316L 鋼の断面
ミクロ組織

一方、放射光による表面残留応力測定を行った結果、表面残留応力は、研削砥石粒度および研削方向に依存することが分かった。#30 研削の場合は研削方向に依存せず、大きな引張残留応力が生じていたが、砥石粒度が細かくなると研削方向に平行な場合は引張残留応力が、垂直方向では圧縮残留応力が生じていた。冷間加工材では、圧延方向依存性は認められず、いずれの方向も圧縮応力であった。

BWR 炉水環境を模擬した高温高压純水中にて #30 研削加工した SUS316L 鋼に SSRT により予き裂を付与した試験片を高温高压水中 in-situ 応力測定装置のオートクレーブ内にセットし、SPring-8 の放射光により引張応力を付与した状態で局所応力分布測定を in-situ で行った結果、圧縮応力と引張応力が不均一に混在、分布していることが明らかになった。このような不均一な残留応力分布が TGSCC 発生起点の重要な要因となっていると考えられる。また、加工することにより析出物の形成が促進されることが明らかになった。これらの結果により加工による析出物形成の促進と表面残留応力の不均一分布が TGSCC 発生起点の重要な要因となっていると考えられる。

