

超微細粒組織オーステナイト鋼の加工誘起変態挙動に及ぼすクロム炭化物の影響解析

Analysis on the Effect of Cr Carbide Precipitates on Strain Induced Martensite Transformation of Ultrafine Grained Structure Austenitic Stainless Steel

鳥塚 史郎^a, 足立 大樹^a, 伊東 篤志^a, 古金 駿^a, 松澤 正明^b
Shiro Torizuka^a, Hiroki Adachi^a, Atsushi Ito^a, Shun Furukane^a, Masaaki Matsuzawa^b

^a兵庫県立大学大学院工学研究科材料・放射光工学専攻, ^b(株)松一

^a University of Hyogo, the Graduate School of Engineering, Department of Materials Science and Synchrotron radiation, ^bMatsuichi Co. Ltd.

SUS316L ステンレス鋼の温間圧延・焼鈍材の Cr 炭化物析出挙動を BL19B2 の透過大強度 X 線回折と引張試験その場透過 X 線回折で調べた。微量ながら Cr 炭化物の析出を測定できた。

キーワード： SUS316L オーステナイト, 超微細組織, 引張試験, その場透過 X 線回折, 加工誘起変態

背景と研究目的：

次世代エネルギーとして水素の利用が検討されている。しかし、水素は金属材料を脆化させる。耐水素脆性材料の第一候補は SUS316 鋼である。なぜならば、SUS316 鋼は、加工誘起変態を起こしにくいからである。加工誘起変態は、両刃の剣である。延性を向上させる反面、生成したマルテンサイトは、水素脆性に著しく弱いからである。

加工誘起変態には Cu、Mo などの元素の添加が大きな影響を及ぼす。また、結晶粒の微細化も大きな影響を与える可能性がある。たとえば、オーステナイトの安定性は Md30(30%加工を加えたときに 50%がマルテンサイトに変態する温度)の式で表すことができる。

$Md30 = 551 - 462(C + N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29.0(Ni + Cu) - 18.5Mo - 68Nb - 1.42(\nu - 8.0)$ [1]
ここで ν は結晶粒度を表す。この式に粒径が含まれていることから加工誘起変態に影響があると考えられる。しかし、結晶粒超微細化による加工誘起変態抑制効果について検討が行われてきたが、いまだ明らかではない。われわれは、結晶粒微細化は、加工誘起変態抑制に有効であると報告して来た[2]。一方、九州大学の高木らは、結晶粒微細化は、加工誘起変態を抑制しないと報告している[3]。

オーステナイトステンレス鋼には、鋭敏化と呼ばれるクロム炭化物($Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 など)の析出現象がある。クロム炭化物として、クロムが析出してしまうと、クロム濃度が低下し、耐食性が低下する。Md30 の式からわかるように、Cr も C もオーステナイトを安定化する元素であり、クロム炭化物の析出は、加工誘起変態を促進してしまう。本測定では、温間加工および熱処理をおこなったサンプルでクロム炭化物が析出しているかどうかを X 線回折によって調べるとともに、圧延処理をおこなってひずみをくわえ、加工誘起変態を生じさせしめた試験片に関して、結晶粒径とクロム炭化物の有無の関係を調べることによって、結晶粒微細化が、クロム炭化物析出も含めて、加工誘起変態抑制に真に効果があるか明らかにすることを目的とした。

実験：

試料：試料名とその特徴

- (1) 304 鋼 Fe-18Cr-8Ni (wt%)
1 μ m 超微細組織、2 μ m、20 μ m 組織を作製した。
- (2) 316L 鋼 Fe-18Cr-12Ni-3Mo(wt%)
1 μ m 超微細組織、2 μ m、20 μ m 組織を作製した。
- (3) 5Mn 鋼 Fe-0.1C-2Si-5Mn (wt%)

実験方法

BL19B2

X線のエネルギーは30 keVとした。材料は鉄鋼材料であるが、板厚0.5 mmであれば十分な回折強度が得られる。引張試験はひずみ速度0.26 mm/minとなるように行う。また、あらかじめ圧延によって加工誘起変態を生じさせたサンプルの測定も行った。

引張試験その場 X線回折

引張試験片試料は平行部長さ12 mm、幅1.2 mm、厚さ0.5 mmの引張試験片であり、BL19B2のゴニオメータ上に小型引張試験機を取り付けた。検出器としては、1次元検出器 Mythen および2次元検出器 Pilatus を用いた。Mythen と Pilatus の位置は、 2θ が5-35°の範囲で計測できるように設置した。X線のエネルギーは30keVとした。Mythen の場合のカメラ長は709.11 mmとした。X線の形状は、それぞれ、2.5 mm×0.2 mm、1.0 mm×0.2 mmとした。引張試験はひずみ速度0.26 mm/minとなるように行った。観察するX線のピークはフェライト相で(110)、(200)、(211)、(220)、(310)の各面とオーステナイト相では、(111)、(200)、(220)、(311)、(222)の各面の回折ピークの角度、強度と半値幅(FWHM: Full Width at Half Width)を測定した。引張試験を行いながら、X線回折を同時に行う In-situ 引張試験 X線回折を行い、応力-ひずみ曲線を取得しながら、応力-ひずみ曲線に対応する X線回折データを得た。データの測定間隔は2sとした。

結果および考察：

Fig.1 に示すように、クロム炭化物の析出が確認できた。結晶粒径0.53 μm の等軸な超微細粒組織が得られた。過去の研究では、焼鈍時の粒成長が早く、良い結果が得られなかった。これに対し、SUS316L 鋼では温間域における強加工が Cr 炭化物のナノ析出を発現することで、Zener のピン止め力が働き、焼鈍時の粒成長を効果的に抑制し、等軸超微細粒組織が生成したと考えられる。

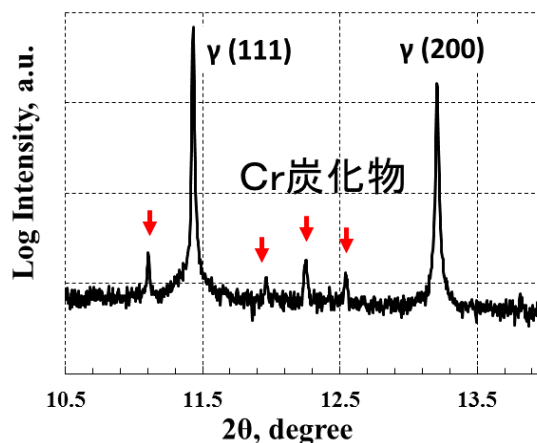


Fig.1 316L ステンレス鋼中の微細 Cr 炭化物の析出

今後の課題：

組織変化との関係を考察してゆく。

参考文献：

- [1] 野原清彦、小野寛、大橋延夫、鉄と鋼、63(1977)、772.
- [2] 小澤秀人、鳥塚史郎、足立大樹、村松榮次郎、日本鉄鋼協会第170回秋季講演大会第42回学生ポスターセッション PS-33, 2015.9.16-18.
- [3] Y. MATSUOKA, T. IWASAKI, N. NAKADA, T. TSUCHIYAMA and S. TAKAKI : ISIJ, International, 53 (2013), 1224-1230.