

開発裏話～微量 Sn 添加によりレアメタル(Cr)を削減した高純度フェライト系ステンレス鋼板の開発

秦野正治¹⁾ 松山宏之²⁾ 石丸詠一朗¹⁾ 高橋明彦³⁾

1. 開発の背景

ステンレス鋼は耐熱性や耐食性に優れた鉄鋼材料であり、自動車や家電・厨房・建材など幅広い用途で使用されている。これらステンレス鋼は、CrとNiを添加したSUS304(18%Cr-8%Ni)、Niを含有しないSUS430(18%Cr)に代表される。特に、SUS304は発明以来1世紀を経た現在も世界のステンレス生産量で約43%を占めている(図1)。

現在、ステンレス鋼の原料であるCrやNiは、我が国においてレアメタルに指定され、国家備蓄7鉱種に位置付けられている。近年、レアメタルの安定供給に不安があり、産業界ではその削減が国家的課題となっている。このような資源対策の視点から、Niの削減のみならずCrも低減したステンレス鋼を開発し、その利用を推進していくことが社会的な要請と言える。

これまで、我が国ではNiの価格高騰を背景に、Niを添加しない高純度フェライト系ステンレス鋼が開発されてきた。高純度フェライト系は、CやN等の不純物元素を低減し、NbやTiの安定化元素を添加して耐食性と加工性を高めたステンレス鋼である。従来、ステンレス鋼の耐食性向上には高Cr化が技術常識であった。実際、SUS304代替として19～21%の高Cr系ステンレス鋼(SUS430J1L及びSUS443J1)が採用されている。

2. 開発の基本技術

上述した背景を踏まえて、著者らは、耐食性向上=高Cr化の技術常識を覆した微量Sn添加によって、レアメタルであるNiの削減のみならずCrも低減した高純度フェライト系ステンレス鋼「NSSC FW シリーズ(14～16%Cr-Sn)」を開発・実用化するに至った(図2)⁽¹⁾。

本開発は、二つの基本的な技術開発を構成要素としている。一つは微量Sn添加による耐食性発現効果である。しかし一方で、Snは鉄鋼材料において製造性を阻害する元素であり、熱間割れ(表面赤熱脆性)を顕在化させることもよく知られている。そこで、もう一つの不可欠な技術開発は、Sn添加を可能とする熱間割れ抑制機構の解明にある。以下、本稿では、二つの基本技術を発掘することに繋がった開発の経緯(Snへの着眼)について少し詳しく紹介したい。

3. 開発の経緯

(1) Snへの着眼～耐食性発現

自然環境の腐食性は、Pourbaixダイアグラムに代表される酸化性/還元性=電位と、酸性/アルカリ性=pHで記述することができる。ここで、大気環境は0V/pH.7付近である。耐食材料であるステンレス鋼の材料開発は、腐食域を小

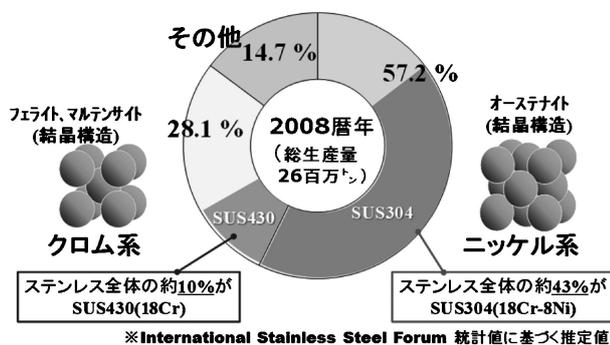


図1 世界のステンレス粗鋼生産実績。

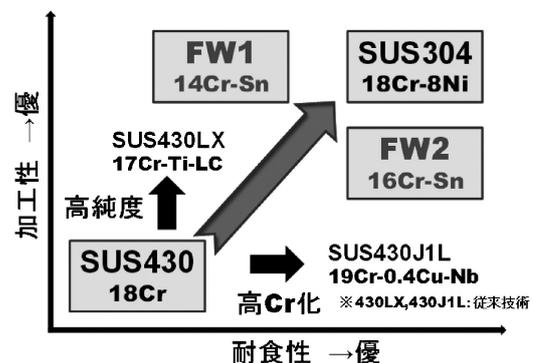
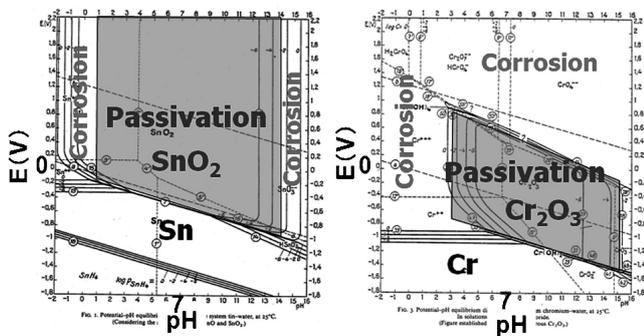


図2 Ni削減のみならずCr低減を達成した開発鋼(NSSC FWシリーズ)のポジショニング。

* 新日鐵住金ステンレス(株)研究センター：1) 上席研究員 2) 主任研究員 3) 研究センター長(〒743-8550 光市大字島田3434)
Development of Sn-added Low Interstitial Ferritic Stainless Steel Sheet with High Corrosion Resistance and Low Cr Content; Masaharu Hatano, Hiroyuki Matsuyama, Eiichiro Ishimaru, Akihiko Takahashi (Research & Development Center, Nippon Steel and Sumikin Stainless Steel Corporation, Hikari)
Keywords: Sn-added low interstitial ferritic stainless, corrosion resistance, tramp elements, Sn, surface hot-shortness, recycling
2013年1月10日受理



M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions

図3 SnとCrのPourbaixダイアグラム。

さくすること、言い替えるとより不動態化しやすく、かつそれを安定にすることが重要な指針となる。Snは、ステンレス鋼の基本構成元素であるCrと比較して、腐食域が小さく不動態域も広い特長を有している(図3)。「このような基本に立ち返ると、Snはステンレス鋼の耐食性向上にも寄与するかもしれない。Snをマイクロアロイとしてステンレス鋼へ活用できれば資源問題(2000年当時～鉄スクラップのリサイクル問題)の打開策になるかもしれない」と、Snに着眼した。

2003年、新日鐵住金ステンレスが発足し、長らく温めていたSn添加シーズを具現化すべく実験に取りかかった。また、フェライト系ステンレス鋼でのSn添加についてはこれまで殆ど顧みられておらず、研究論文も見当たらないことが研究を進める大きな駆動力になった。その結果、フェライト系ステンレス鋼の一般水溶液中(NaCl.aq.)で発生するしみや発錆は、0.1%程度の微量Sn添加により大幅に抑制することを見出した⁽¹⁾。このような耐食性向上効果は、上述した材料開発の指針に通じる。すなわち、微量Sn添加による耐食性向上は、不動態化の促進にあり、電気化学的検討から活性溶解を抑制する過程で健全な不動態皮膜を形成する作用に基づくことを明らかにした⁽¹⁾。

(2) Snへの着眼～熱間割れ抑制機構

ステンレス鋼の製造では、電気炉溶製においてスクラップを主な鉄源とする。その場合、CuやSnは、精錬で除去し難いトランプ元素であり、普通鋼では極微量で表面赤熱脆性を顕在化させることが知られている(図4)⁽²⁾。一方、フェライト系ステンレス鋼では、耐食性や加工性の向上あるいは抗菌性発現の観点から1%を超える多量のCuを添加した鋼材が開発されてきた歴史もある。「普通鋼で顕在化する表面赤熱脆性は、フェライト系ステンレス鋼で経験的に生じ難い。原因は一体何によるものか?」2000年当時、鉄スクラップ再利用に係る研究開発に従事していた秦野は、この割れ抑制に対する科学的根拠を解明する探究心に駆りたてられた。

そのような探究心を持って取り組んだ基礎研究から、フェライト系ステンレス鋼での割れ抑制は、普通鋼と比較して酸化スケールや母材の結晶構造が異なることに帰着した⁽³⁾。すなわち、熱間圧延プロセスで普通鋼は、鉄より貴なSnが酸化せず表面に濃化して低融点金属を生成し、熱間加工で結晶粒界を起点に表面割れを誘発する(図5上段)。一方、フェライト系ステンレス鋼では、割れを誘発するSnが多孔質なス



図4 熱間圧延プロセスのイメージ図と普通鋼で発生する表面赤熱脆性。

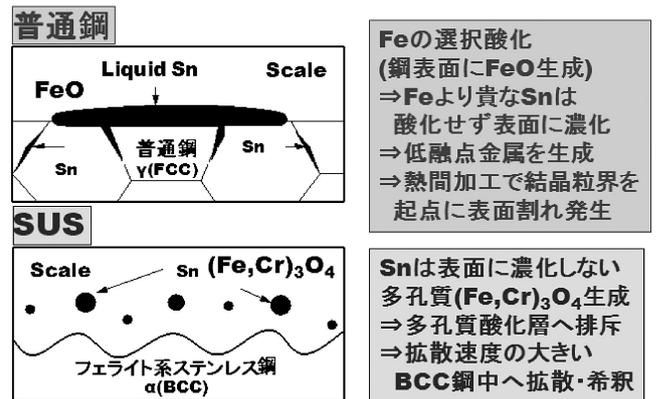


図5 フェライト系ステンレス鋼での表面赤熱脆性抑制の概念図～熱延加熱後の地鉄界面模式図。

ケール中への排斥、母材であるフェライト相(BCC)への拡散・希釈作用により地鉄界面へ濃化し難い(図5下段)。このような熱間割れ抑制機構の基礎研究が工業生産プロセスでのSn添加へと実を結んだ。

4. 開発を振り返って

本開発鋼は、ステンレス鋼のレアメタル使用量を画的に削減し、資源対策と原料コスト対策を同時に達成した。現在、海外との価格競争が激しいSUS304およびSUS430に替わる第3の汎用鋼として国産技術の奨励と国内産業活性化への貢献が期待される。

本開発は、10年超しとなるSn添加への拘りと執着、その基礎研究が成就したものである。本開発を振り返って、基本に立ち返ること、科学的な目線による粘り強い探求心が研究者として如何に大切かを痛感している。本開発鋼の実用化・拡販は、著者らのみならず多くの関係者によるものであり、最後に深謝の意を表したい。

文 献

- (1) 秦野正治, 松山宏之, 石丸詠一郎, 高橋明彦: まてりあ, 51(2012), 25-27.
- (2) 柴田浩司, 国重和俊, 秦野正治: ふえらむ, 7(2002), 18-22.
- (3) 秦野正治, 国重和俊: 鉄と鋼, 90(2004), 134-140.