

高濃度窒素鋼の製造 (1)

加圧式ESR法による高濃度窒素鋼の製造

Pressurized ESR Method

片田康行
Yasuyuki Katada

物質・材料研究機構 超鉄鋼研究センター

1 緒言

鉄鋼に窒素 (N) を添加し、耐食性や機械的性質を改善する研究は比較的早く、オーステナイト相の形成元素で、かつ稀少元素であるNiの代替元素として第二次世界大戦以前から研究されてきた。現在、代表的な用途の一つに、高強度、非磁性が要求される発電機用モーター回転子の保持リング材として、高Mn高窒素添加オーステナイト系ステンレス鋼がある。一般に、鋼中のNの溶解度を高めるためには、CrやMnなどNの溶解度を高める合金の添加が行なわれるが、その時の溶解度は合金成分、温度、圧力によって変化する。Fe-Cr系において、Nの溶解度は純鉄が最も低く、Crの含有量の増加とともに上昇する。また合金系では液相よりもむしろ固相の方が溶解度は高い。

ここで取り上げる高窒素鋼の実例として、当機構において、1997年から開始された超鉄鋼プロジェクト研究 (STX-21) の一環として行われている「耐海水性ステンレス鋼の開発」¹⁻⁴⁾ をあげる。この耐海水性ステンレス鋼の開発指針は、Cr、Ni、Moの合金元素を極端に増加させることなく、かつ素材の高清浄化を図ることにより、スーパーステンレス鋼級の耐海水性省資源型ステンレス鋼を開発することである。窒素添加と素材の清浄化を同時に実現できる装置として、窒素ガス加圧式ESR (Electro-Slag Remelting) 装置を国内で初めて開発し、不純物混入の原因となるMnを添加しない高窒素添加ステンレス鋼の試験溶製に成功した¹⁻²⁾。本報では、加圧式ESR法 (P-ESR) による高窒素ステンレス鋼の創製と、得られた高濃度高窒素添加オーステナイト系ステンレス鋼の諸性質等について述べる。

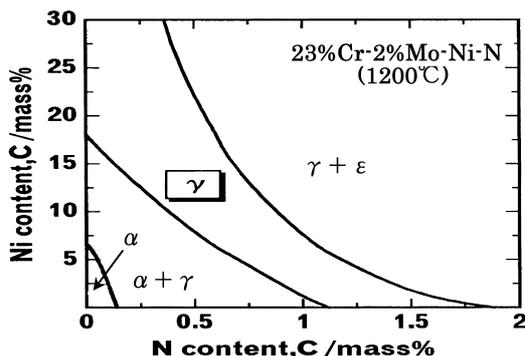


図1 23%Cr-2%Mo-Ni-N系鋼の状態図

2 加圧式ESR装置

2.1 装置仕様、電極、フラックス

加圧式ESR溶解装置の基本仕様としては鋼塊重量：20 kg (Fe換算)、Cu製るつぼ、最大交流電流：3000A、窒素ガス最大圧力：5 MPaである。合金系としては、耐海水性ステンレス鋼のモデルであるFe-23%Cr-4%Ni-2%Mo系とし、できるだけ不純物元素を低減化したものを真空溶解して電極用母材とした。同合金系のサーモカルクによる状態図を図1に示す。図より、窒素が1重量%以上含有すればニッケルを十分低くしても γ 単相となり、さらに窒素が1.1重量%以上含有すればニッケルフリーの γ 単相鋼ができることがわかる。窒素源として、FeCrNの粉末を用いた。本溶解で用いたフラックスは、CaF₂、CaO、Al₂O₃の組み合わせで、操業開始前に全量を投入して実験を行った。図2に加圧式ESR装置の原理図を示す。フラックスを介して電極に通電するとジュール熱によりフラックスが高温熔融状態となる。その熱により電極が熔融・滴下して鋼塊となる。この過程で、スラグによる精錬効果のため清浄化が達成できる。この一連の過程が高圧条件下で行われ、窒素の溶解度は圧力の平方根に比例して上昇する。

3 高窒素添加ステンレス鋼の溶製

3.1 加圧式ESR溶解条件

上記の一次電極を用いて、窒素ガス圧：1~4 MPa、交流電流2000~3000A、電圧27~30 V、溶解速度は定常状態後0.5~0.7 kg/minの条件下でESR試験を行った。一例として図3に、4 MPaの条件下で得られた鋼塊の窒素含有量の分布を示す。圧力が1 MPaで0.7重量%、2 MPaで0.9重量%、3 MPa以上で1重量%を越える窒素が確認された。窒素含有量はいずれの条件下でも図のような一様な分布を示した。

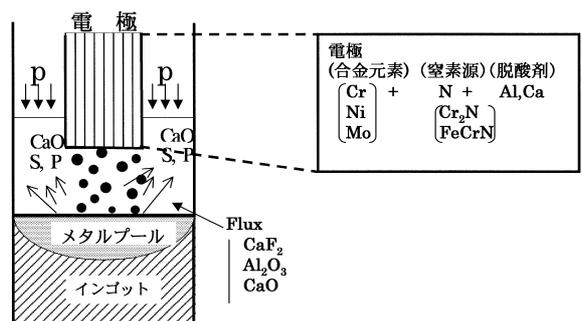


図2 加圧式ESR法の原理図

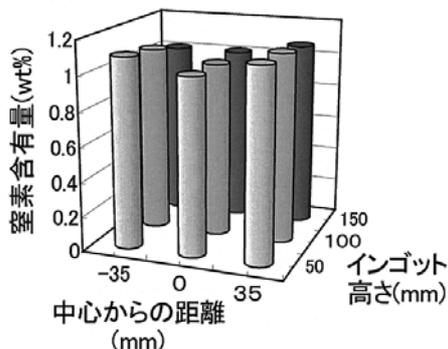


図3 高窒素ステンレス鋼塊中の窒素濃度分布 (4MPa)

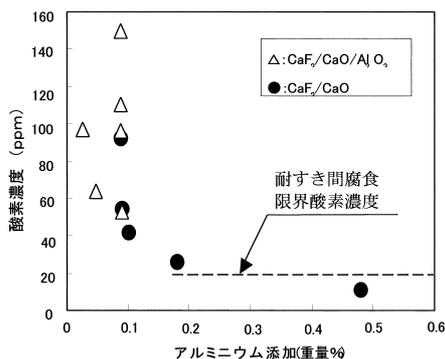


図4 加圧ESR溶解法におけるAl添加による脱炭効果

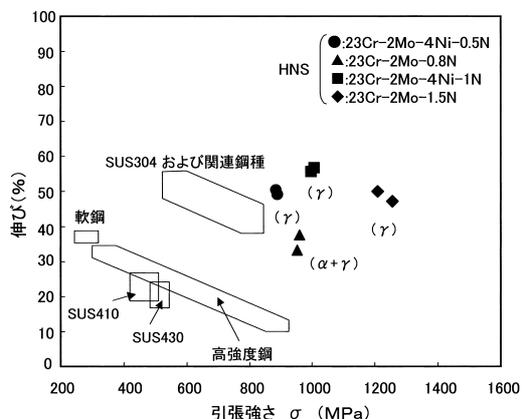


図5 機械的性質に関する高窒素鋼 (HNS) と一般鉄鋼材料との比較

3.2 脱炭処理

図4に、鋼塊中平均酸素濃度と電極中のAl脱炭剤含有量を示す。△印は3元系フラックス、●印は2元系フラックスを用いた場合の分析結果である。図より、Alの添加効果が顕著で、0.02%以上のAl添加により酸素含有量は20ppm以下になることがわかった。また、この酸素レベルは、その後の耐局部腐食試験の結果から耐すき間腐食限界酸素濃度であることがわかった³⁾。

3.3 窒素添加ステンレス鋼の諸特性

23%Cr-4%Ni-1%Mo材の耐食性についての詳細は本特集の相良の論文に譲るが、5ヶ月間に亘る海水暴露試験の結果、全くすき間腐食を発生しなかったことから、本材料は優れた耐食性を有することがわかった。図5は、溶体化処理された23%Cr系高窒素添加ステンレス鋼の伸びと引張強さを文献から得られた各種鉄鋼材料のものと比較したものである⁴⁾。図より、 γ 単相のステンレス鋼の伸びはSUS304鋼とほぼ同等で、かつ引張強さは1000~1200MPa程度のものが得られており、これらの高窒素鋼が耐食性のみならず強度の面からみても優れた材料であることがわかった。さらに、高窒素鋼の加工性についても各種熱間・冷間加工が可能であることを確認した³⁾。

4 まとめ

当機構で開発した加圧式ESR (P-ESR) 装置を用いて高窒素ステンレス鋼の製造を試み、得られた高純度高窒素添加オーステナイト系ステンレス鋼 (HNS) の諸性質等について調べた結果、以下のことが明らかになった。

- (1) P-ESR法により、窒素濃度が1重量%を超え、かつ鋼中酸素含有量が20ppm以下のHNSの創製に成功した。
- (2) HNSは、海水環境下ですき間腐食を発生しないなど優れた耐食性を示すと同時に、優れた機械的性質を示すことがわかった。
- (3) HNSの加工性についても調べた結果、各種熱間・冷間加工が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 片田康行, 宇野秀樹, 小玉俊明: CAMP- ISIJ, 13 (2000), 356.
- 2) Y. KATADA et al.: Proc of THERMEC '2000 (2001), B1-7.
- 3) 片田康行, 相良雅之, 小玉俊明: CAMP- ISIJ, 14 (2001), 282.
- 4) 片田康行, 相良雅之, 小林能直, 小玉俊明: CAMP- ISIJ, 15 (2002), 438.

(2002年8月15日受付)