

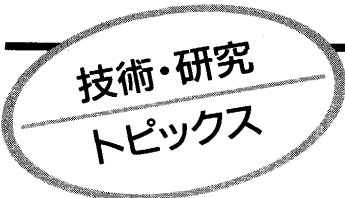
外国雑誌への転載依頼

Plnum (London, New York) 出版社のProceedingsの論文よりMagnetohydrodynamics誌 (MHD分野では世界的サーキュレーションを持つ第一級の専門誌) への転載の

依頼を受けた。著作権等多少問題があるものの、MHD分野にEPMを認知させる好機到来と受けとめている。

最後に組織委員会・幹事会のメンバー、日本鉄鋼協会の方々その他多くの関係者に心より御礼を申し上げます。

(平成7年2月3日受付)



高Cr-Ni-Mo系ステンレス鋼の諸特性と加工誘起マルテンサイト変態の関係

小野 修二・齊藤 正洋 / 三菱重工業(株)長崎研究所

ステンレス鋼で不安定なオーステナイトを塑性変形によりマルテンサイトに変態させ、高い強度と良好な延性を誘発する現象をTRIP (transformation-induced plasticity) 効果と言い、高強度ステンレス鋼の強化法の一つになっている^{1)~3)}。しかし、この現象を実際に応用した実用材料は極めて少ない。

著者らは、近年、船舶の省エネルギー運航を狙いとしてこの現象を利用した高強度18%Cr系ステンレス鋼を開発しプロペラ材料として実用している^{4)~10)}。

本鋼は、プロペラ材料として必要な海水中の腐食疲れ強さおよび耐エロージョン性が、従来のニッケルアルミニウム青銅と比較してそれぞれ1.5倍以上と優れている⁴⁾⁸⁾⁹⁾。これらの特性は、主として組織中のオーステナイトが加工誘起マルテンサイトへ変態することに起因して発揮されることが明らかにされている⁴⁾⁹⁾⁹⁾。

本報告では高Cr-Ni-Mo系ステンレス鋼の室温での機械的性質および耐エロージョン性とオーステナイトのマルテンサイト変態挙動との関係について、これらの特性をオーステナイトの安定の度合を示すとされる平山と小切間¹¹⁾¹²⁾のNi当量との関係で整理し、考察する。

加工誘起マルテンサイトへ及ぼす化学成分の影響

高Cr-Ni-Mo系ステンレス鋼の室温での機械的性質および耐エロージョン性に及ぼすマルテンサイト変態の影響の検討に当たっては、式(1)で示される平山と小切間¹¹⁾¹²⁾のNi当量を化学成分の統一量として使用した。

$$\text{Ni 当量 (\%)} = \text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.98\text{Mo} + 1.05\text{Mn} + 0.35\text{Si} + 12.6\text{C} \dots\dots\dots(1)$$

この式(1)は、鋼のマルテンサイト変態に及ぼす化学成分の影響は、自由エネルギーの変化によって生じるものとして、ばね材料であるFe-Cr-Ni系ステンレス鋼を対象として熱力学的見地から導かれたものである。これは、化学成分の面からオーステナイトの安定度を示すとされており、その値が小さいほどオーステナイトが不安定であることを示す。

機械的性質と加工誘起マルテンサイト変態の関係

引張強さと0.2%耐力の比 (引張強さ/0.2%耐力) を縦軸にし、平山と小切間¹¹⁾¹²⁾のNi当量を横軸にして整理した結果をFig. 1に示す。引張強さ/0.2%耐力は、平山と小切

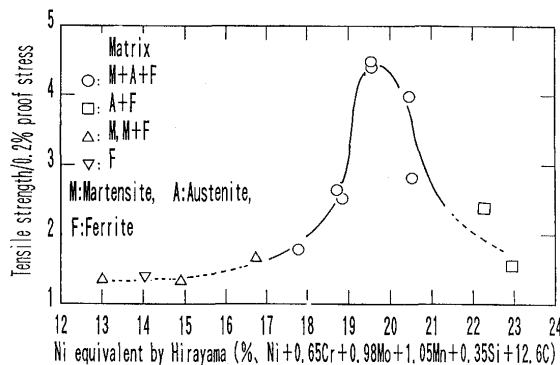


Fig. 1. Relationship between Ni equivalent by Hirayama and tensile strength/0.2% proof stress.

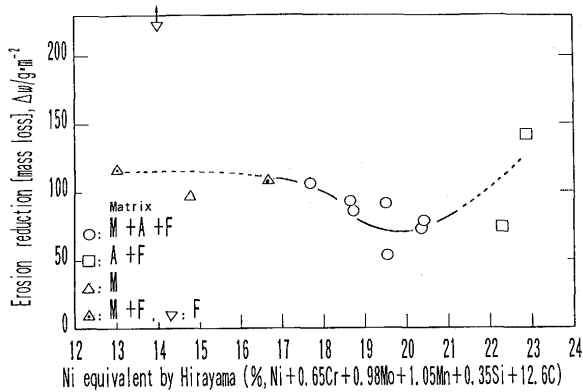


Fig. 2. Relationship between Ni equivalent by Hirayama and mass loss by cavitation erosion.

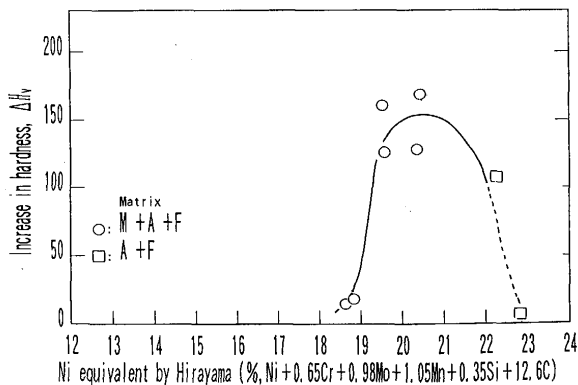


Fig. 3. Relationship between Ni equivalent by Hirayama and increase in hardness by cavitation erosion.

間のNi当量の19.5%付近で最大値を示す。

これは、ばね材料であるFe-Cr-Ni系ステンレス鋼で得られたNi当量の19~22%の組成で塑性変形に伴う加工誘起マルテンサイトが最も生成しやすいとの平山と小切間の報告¹²⁾と一致している。

なお、伸びはNi当量で19%から21%にかけて急激に増加している⁹⁾。伸びが急激に増加する組成域は、平山と小切間がオーステナイトが加工誘起マルテンサイトへ変態しやすい組成として報告¹¹⁾しているNi当量21%とほぼ一致している。これらの組成での伸びの増加は、やはり加工誘起マルテンサイトの生成に伴い均一伸びが増加するためと考えられる。

耐エロージョン性と加工誘起マルテンサイト変態の関係

エロージョン減量(重量)と平山と小切間¹¹⁾¹²⁾のNi当量で整理した結果をFig. 2に示す⁹⁾。これによると、エロージョン減量が少ない組成はNi当量で19~21%になり、この値は宇佐見ら¹³⁾および尾崎ら¹⁴⁾の報告のエロージョン減量が最小値を示した範囲とほぼ一致している。

このエロージョン試験に伴う主要試験片の硬さの上昇度

合を平山と小切間のNi当量で整理した結果をFig. 3に示す⁹⁾。試験片の硬さはNi当量で19%付近から急激に上昇しており、その上昇度合は20~21%で最大値を示している。これはFig. 2の結果を裏付けている。

これらの結果は、エロージョン試験中にキャビテーションの衝撃力によりオーステナイトが加工誘起マルテンサイトへ変態することによるものと考え、変態したオーステナイト量を測定した⁹⁾。その結果によると硬さの上昇は、オーステナイトの減少量(変態量)とともに大きくなっている。

なお、エロージョンの衝撃力によりオーステナイトが変態して生成する加工誘起マルテンサイトの硬さは、当初から存在するathermal martensite(冷却により生成されるマルテンサイト)より高い値を示す¹²⁾と言われている。

まとめ

高Cr-Ni-Mo系ステンレス鋼の機械的性質及び耐エロージョン性と加工誘起マルテンサイト変態の関係について検討した。結果の概要は、次のとおりである。

- (1)引張性質は、平山と小切間のNi当量と相関があり、Ni当量の19~21%で優れた値を示す。
- (2)優れた耐エロージョン性を示す組成も、Ni当量で19~21%にある。これらの組成ではキャビテーションの衝撃力によりオーステナイトがマルテンサイトに変態し、高い硬度を有する加工誘起マルテンサイトを生成する。
- (3)上記の結果から、船舶用プロペラ材料として実用されている高強度18%Cr系ステンレス鋼が優れた特性を示す理由は、成分が平山と小切間のNi当量で19~21%にあり、加工誘起マルテンサイトに変態しやすいオーステナイトを含む組織を有するからと考えられる。

文 献

- 1) 田村今男：鉄と鋼, 56 (1979), p.429
- 2) 村田 康, 大橋誠一, 植松美博：鉄と鋼, 76 (1992), p.346
- 3) 高木節雄：日本金属学会「材料の変形と強度に関する基礎的諸問題」シンポジウム予稿(1993年7月2日)
- 4) 小野修二, 斉藤正洋, 松尾信太郎：日本金属学会誌, 57(1993), p.307
- 5) 小野修二, 斉藤正洋, 松尾信太郎：日本金属学会誌, 57(1993), p.761
- 6) 小野修二, 斉藤正洋, 松尾信太郎：日本金属学会誌, 58(1994), p.85
- 7) 小野修二, 松尾信太郎, 斉藤正洋, 川添 強：鋳物, 66(1994), p.20
- 8) 小野修二, 松尾信太郎, 斉藤正洋：鋳物, 66 (1994), p.104
- 9) 小野修二, 斉藤正洋, 松尾信太郎：日本金属学会誌, 58(1994), p.488
- 10) 小野修二, 松尾信太郎, 河野隆之, 斉藤正洋：鋳物, 66(1994), p.359
- 11) 平山俊成, 小切間正彦：日本金属学会誌, 34 (1970), p.507
- 12) 平山俊成, 小切間正彦：日本金属学会誌, 34 (1970), p.511
- 13) 宇佐見賢一, 尾崎敏範, 小沼 勉：鉄と鋼, 75 (1989), p.790
- 14) 尾崎敏範, 飯野利喜, 小沼 勉：日本金属学会会報, 26(1987), p.296

(平成7年1月9日受付)