

磁気特性および耐食性に優れた TiS快削電磁ステンレス鋼の開発

高田揚大*1・柳谷彰彦*2・田中義和*3・馬明 満**1・伊藤永勝**2

Development of TiS-Bearing Free-cutting Electromagnetic Stainless Steel
Akihiro Takata, Akihiko Yanagitani, Yoshikazu Tanaka, Mitsuru Mamyō and Nagakatsu Ito

Synopsis: Magnetic core material of solenoid valves demands various properties such as high magnetic induction, low coercive force, high resistivity and high hardness simultaneously.

Generally, elements such as S, Pb, Te and Se are added to improve machinability of electromagnetic stainless steel. Conventional S free-cutting steels, however, are owed to water-soluble MnS precipitates which are unfavorable for corrosion resistance. Although using low melting point elements such as Pb is better for corrosion resistance than MnS, there are some safety restrictions on its application for solenoid valves in food industry.

As a solution of this matter, authors developed the new concept electromagnetic stainless steel which provides good soft magnetic properties, corrosion resistance and machinability together by using TiS.

Key words: electromagnetic stainless steel ; magnetic property ; corrosion resistance ; TiS.

1. 緒言

一般に電磁弁などの鉄心材料に要求される特性は、①高磁束密度・低保磁力、②高固有抵抗、③高硬度、④良好な被削性などである。著者らはCr, Si, Al, Pbなどを添加し、磁気特性、被削性に優れた電磁ステンレス鋼を開発してきた¹⁻⁵⁾。

従来、電磁ステンレス鋼を含め鉄鋼材料においては、被削性を改善するためにS, Pb, Bi, Te, Se等の快削元素を添加している。しかしながら、従来のS快削鋼はMnSを形成させて被削性を向上させているが、MnSは水溶性であるため耐食性を劣化させるという問題点がある。一方、Pbなどの低融点金属を快削元素として使用した場合には、耐食性については大きな劣化はみられないものの、安全性の点から食品用途関連への使用には制約をさけることができない。また、環境問題の観点からPbなどの低融点金属は将来的には使用が制限されると考えられる。そこで、低融点金属を用いることなく磁気特性、耐食性、被削性に優れた電磁ステンレス鋼の開発が強く望まれている。

これに対して、著者らは種々の検討を行い、S快削電磁

ステンレス鋼の耐食性および磁気特性向上についての指針を得、SをTiで固定してTiSを形成させることにより、磁気特性、耐食性、被削性に優れた電磁ステンレス鋼を開発した。

2. 開発指針

磁気特性に及ぼす元素の影響をFig.1に示す。一般に、被削性を改善するためにはSを添加すれば良いことが知られているが、Fig.1に示すようにS添加は磁気特性のうち保磁力Hcを増加させる。また、耐食性を高めるためにCr量を増加させると、磁束密度Bが低下する⁶⁾。そこで著者らは耐食性劣化の主因となる介在物であるMnSに着目し、磁束密度を高く、保磁力を低く抑え、かつ耐食性を向上させる方策について検討した。その中で硫化物系介在物としてMnSを形成させず、耐食性のよい介在物であるTiS主体とすることにより耐食性を向上させ、同時に磁気特性の向上も達成することを目的として実験を行った結果を以下に示す。

日本金属学会, までりあ, 37(1998), p.418.で発表し, 第21回技術開発賞を受賞

*1 技術研究所 新材料・粉末研究グループ

*2 粉末事業部, 工博

*3 技術研究所

**1 CKD株式会社開発部

**2 CKD株式会社コントロールズ事業部

Table 1. Chemical compositions of materials.

									(mass%)
C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	Ti	N	
<0.01	1.5~2.0	0.3	0~0.05	13	0.4	0~0.2	0~0.4	<0.01	

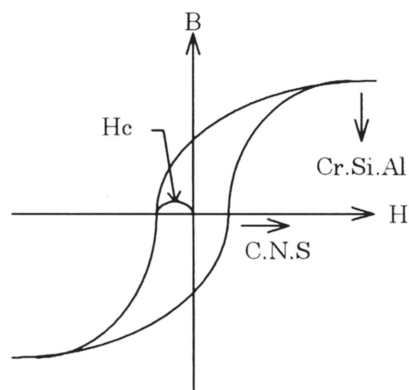


Fig.1. Effect of elements on magnetic properties.

3. 実験方法

3・1 供試材の作製

本実験に用いた供試材化学成分をTable1に示す。13mass%Crをベースに、S量を0~0.05mass%、Ti量を0~0.4mass%に変化させた電磁ステンレス鋼を100kgVIMで溶製し、直径20mmに熱間鍛造し、870℃空冷の熱処理を行った後に機械加工により試験片を作製して各種試験を行った。

3・2 被削性

直径5mmのSKH51ドリルを用い、回転数15s⁻¹でドリルの刃先に一定の荷重414Nを負荷し、深さ10mmを穿孔するのに所要する時間で被削性を評価した。

3・3 直流磁気特性

外径10mm、内径6mm、厚さ5mmのリング状試験片を作製し、850℃-4hの真空熱処理を施した後に巻線を施し、直流B-Hトレーサーにて直流磁気特性を測定した。最大印加磁場796A/mにおけるB-Hループから保磁力Hcを求めた。

3・4 耐食性

孔食電位および腐食減量を測定することにより耐食性を評価した。孔食電位としてJISに準拠した方法により、35℃の3.5%NaCl水溶液中で電流密度が100μA/cm²に達したときの電位 (V'_{c100}) を測定した。参照電極には飽和カロメル電極を用いた。さらに、試験片を25℃の5%HNO₃中に24h浸漬を2回繰り返して、試験後の腐食減量を測定した。

3・5 非金属介在物の分析

Ti/Sが低い供試材と高い供試材でEPMAにより非金属介在物の定性分析を行い、介在物の同定を行った。

4. 実験結果および考察

各種特性をTi量とS量の比 (Ti/S) で整理し、耐食性が必要な電磁弁に使用される17Crフェライト系ステンレス鋼 SUS430と比較した。

4・1 被削性

従来の知見より、電磁ステンレス鋼においてもS量が増加するに従い被削性が向上することが知られている⁴⁾。Table1に示した供試材について、被削性に及ぼすSの影響を調べた結果をFig.2に示す。深さ10mm穿孔所要時間は、S量が増加するに従い短くなる傾向がみられ、本実験においてもS量増加により被削性が改善されることを確認した。また、従来材であるSUS430よりも被削性を向上させるためには、0.02mass%以上のS添加が必要であることが分かる。

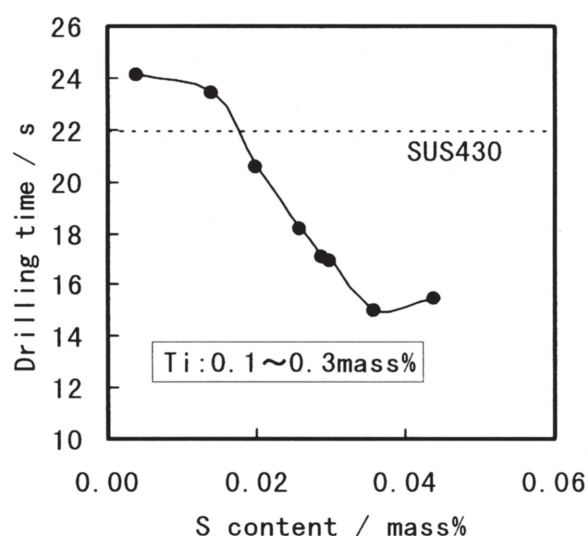


Fig. 2. Effect of S content on drillability.

4・2 直流磁気特性

直流磁気特性のうち、保磁力に及ぼすTi/Sの影響をFig.3に示す。保磁力HcはTi/Sが大きくなるに従い低下し、Ti/Sが6付近で極小値を示し、Ti/Sが6をこえると逆に保磁力が増加する傾向がみられた。磁気特性の点からはTi/Sが4~6付近が最も適していると考えられる。また、Ti無添加材についてはS量が多くなるに従い保磁力が増加するが、Ti添加材はTi/S=6と設定することにより、Sを0.03mass%添加し

ているにもかかわらずS添加量0.01mass%水準の優れた保磁力を示すことを見出した。

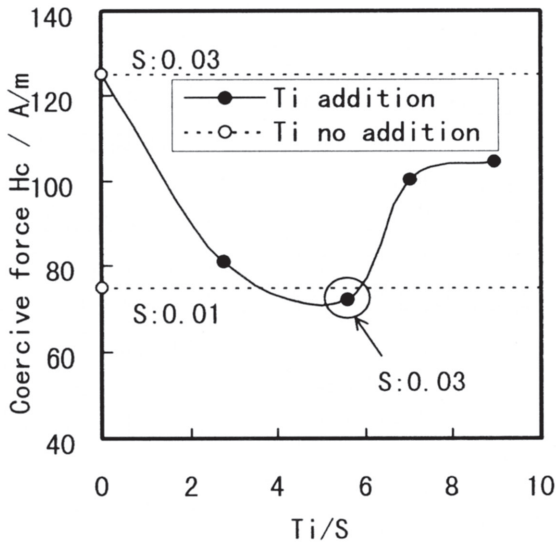


Fig. 3. Effect of Ti/S on coercive force.

4・3 耐食性

孔食電位に及ぼすTi/Sの影響をFig.4に示す。孔食電位はTi/Sが増加するに従い向上する傾向がみられた。Ti/Sが6~9付近で極大値を示し、最も良好な耐食性を示すことが分かった。一方Ti/Sが9をこえるとかえって孔食電位が低下する傾向がみられた。また、SUS430と比較すると、Ti/Sを4以上とすることでSUS430以上の耐食性を示すことが分かる。

5% HNO_3 中の腐食減量に及ぼすTi/Sの影響をFig.5に示す。腐食減量はTi/Sが増加するに従い減少する傾向がみられ、

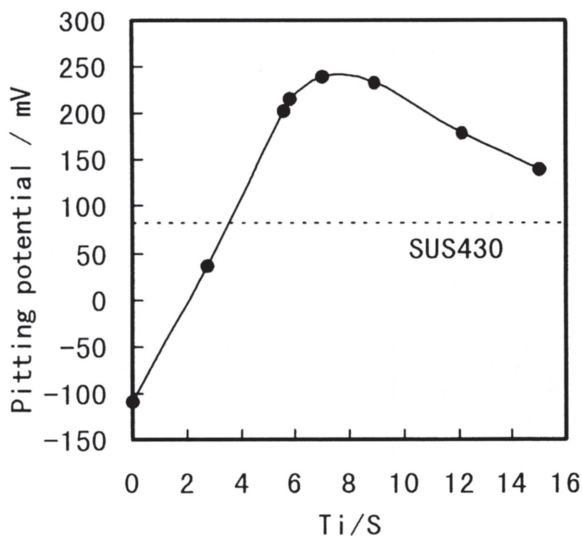


Fig. 4. Effect of Ti/S on pitting potential.

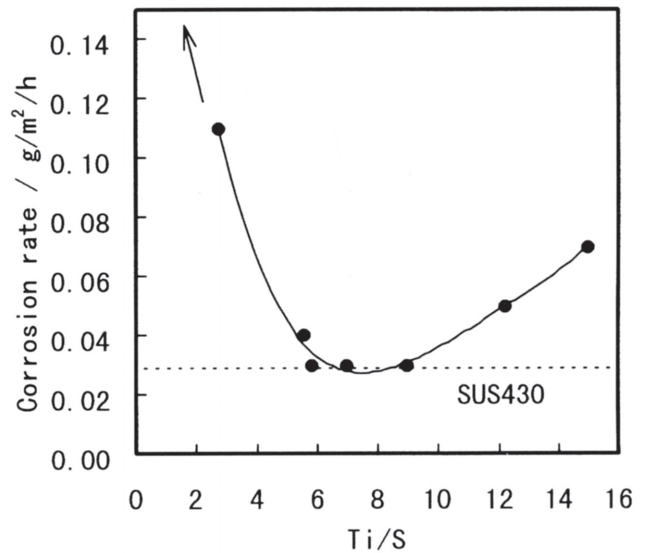


Fig. 5. Effect of Ti/S on corrosion rate in 5% HNO_3 .

Ti/Sが6~9で極小値を示し、最も耐食性が向上することが分かった。また、Ti/Sが9をこえると逆に腐食減量が増加し、耐食性が低下する傾向がみられた。

孔食電位および腐食減量の結果より、耐食性の観点からはTi/Sは6~9が最適であると考えられる。

4・4 非金属介在物の分析

耐食性向上の要因を検討するため、Ti/Sが異なる場合の非金属介在物組成をEPMAにより同定した結果をFig.6に示す。Ti/Sが低い組成(2.8)においてはTiNおよびMnSがみられたが、Ti/Sが高い組成(7.0)ではTiNとTiSがみられ、MnSはみられなかった。

従来から、ステンレス鋼にTiを添加することにより耐食性が向上することが知られており、これは粒界に析出してCr欠乏層を形成し耐食性低下の原因となるクロム炭窒化物をTiCやTiNに置換することにより、Cr欠乏層の形成を抑え耐食性を向上させることによると考えられている⁶⁾。

本開発鋼においては、Ti/Sが増加するに従い、水溶性で耐食性劣化の原因となるMnSが、酸にも安定なTiSに置換されることにより耐食性が向上すると考えられる。その際にTi/Sが6~9付近でMnSが完全にTiSに置換され、最も良好な耐食性を示すと考えられる。

5. 開発鋼の諸特性

以上の結果をもとに、磁気特性、耐食性に優れたTiS快削電磁ステンレス鋼を開発した。開発鋼の化学成分および特性をそれぞれTable2,3に示す。

6. むすび

本開発鋼は、少量のTi添加によりMnSをTiSに置換し、磁

Table2. Typical chemical composition of the developed steel.

(mass%)								
C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	Ti	N
<0.01	2.0	0.3	0.03	13	0.4	0.2	0.15	<0.01

Table3. Properties of the developed steel.

Steel	Resistivity ρ ($\mu\Omega\cdot m$)	Hardness HRB	Flux density B_{25} (T)	Coercive force Hc (A/m)	Pitting potential $V'_{C_{100}}$ (mV)	Drilling time (s)
Developed steel	0.89	87	1.29	73	203	17
SUS430	0.60	80	1.25	300	83	22

B_{25} : Flux density at 1990A/m (25Oe)

束密度を著しく低下させるCr量を増加させることなく、従来のMnS快削鋼の欠点であった耐食性および磁気特性を改善したもので、適正Ti/Sにおいて耐食性と同時に保磁力が改善されることを見出し、高磁束密度、低保磁力を実現できた。また、低融点金属を用いなくて被削性改善を実現し、今後の環境対策に対応したのものである。なお、本開発鋼は現在CKD(株)の電磁弁鉄心材料として使用されており、電磁弁の特性向上に寄与している。

文献

- 1) 柳谷彰彦, 田中義和: 鉄と鋼, 69 (1983), S1286.
- 2) 中里弘昭, 柳谷彰彦, 田中義和: 鉄と鋼, 71 (1985), S1470.
- 3) 中里弘昭, 田中義和: 鉄と鋼, 72 (1986), S1442.
- 4) 中里弘昭, 田中義和: 材料とプロセス, 1 (1988), 1910.
- 5) 柳谷彰彦, 榎田哲智, 高田揚大, 中里弘昭, 田中義和: までりあ, 34 (1995), 632.
- 6) 長谷川正義: ステンレス鋼便覧, 日刊工業新聞社, (1973), 227.

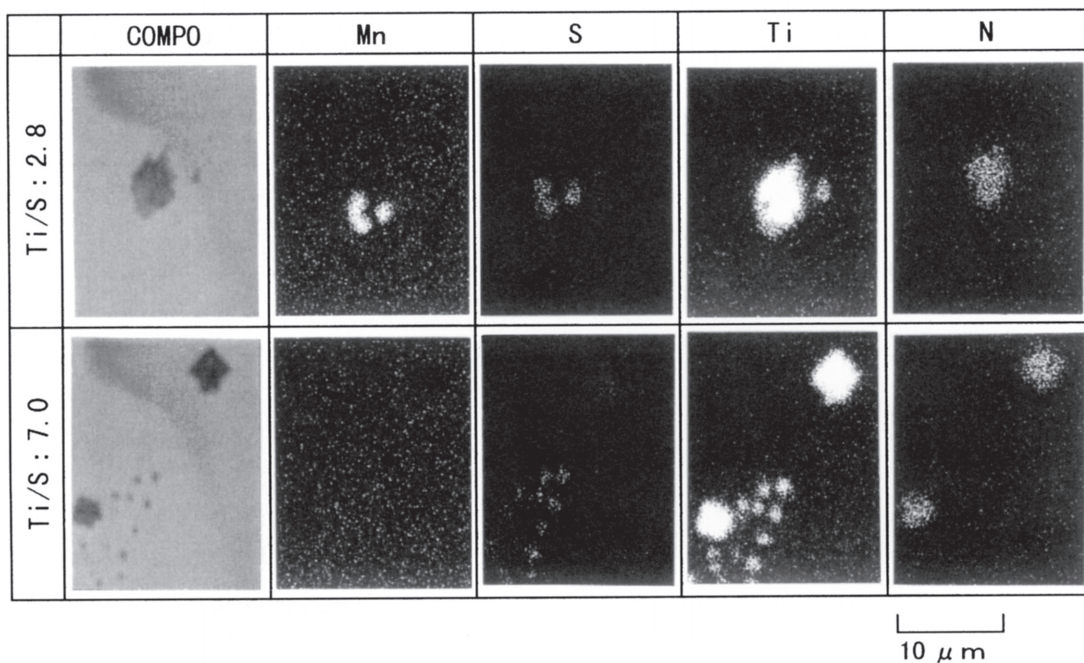


Fig.6. Identification of inclusions by EPMA.