

新日鉄住金(株)の特殊ステンレス鋼商品展開

Product Line and Development of Specialty Stainless Steel of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation

山出善章*
Yoshiaki YAMADE

黒田篤彦
Atsuhiko KURODA

渋谷将行
Masayuki SHIBUYA

高梨憲
Ken TAKANASHI

抄 録

ステンレス鋼が発明されちょうど100年が経過した。この間我が国のステンレス鋼製造業は日本の経済成長とともに着実に生産量を伸ばしてきたが、近年、価格競争力の維持向上に加え、高付加価値製品の開発や独自性の追求などもこれまで以上に重要になっている。新日鉄住金(株)では長年培ったステンレス鋼の製造技術をベースとして、顧客との共同開発などを通して独自高機能ステンレス鋼を多数開発し、実用化することで事業を展開してきた。新日鉄住金(株)における特殊ステンレス鋼事業の経緯と、特徴ある商品群、そして今後の展開について紹介した。

Abstract

100 years have passed since stainless steel was invented. Stainless steel industry in Japan has increased the production volume steadily along with Japanese economic growth in this period. However, as the competition with foreign countries has intensified, developments of the high-value added products and the pursuit of specialty have been more important than ever in addition to improvement in the cost-competitiveness. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation has developed higher-performance stainless steels through the collaborative developments with the customers, and put them into practical uses based on our traditional production technology. This paper describes the history, the newly developed specialty stainless steels and our future directions.

1. はじめに

さびない(さびにくい)鉄として知られるステンレス鋼がヨーロッパで発明され昨年でちょうど100年となった。発明から時を経ず日本でも研究、製造が始まり、1920年代後半には厚板が製造されるようになった。さらに1958年以降はゼンジミア式20段圧延ミルが導入され、広幅で表面品質に優れたステンレス鋼板が量産されるようになり、家庭用などの一般用途にも広く普及が進んだ。その後1970年には米国を抜いて世界一の生産国となるなど生産量は順調に推移した。

一方、図1に示す通り近年のステンレス鋼の生産量は2008年の世界不況の影響もあり、日本を含む先進国では一時的に減少した。しかしながら全世界の生産量は、最近10年間の平均で年率5%成長している。また2012年度においても国別で見ると、依然日本が世界第2位の生産量(約320万トン)を誇っており、今後ともステンレス鋼の持つ優

れた機能性を活用して、エネルギー開発・環境関連分野を中心に需要拡大が見込まれている。

一方、新日鉄住金(株)の特殊ステンレス鋼事業は、生産量約3万トンと日本全体の約1%であるものの、製鋼-熱間圧延-冷間圧延の全工程を社内に持つ一貫製造体制を有

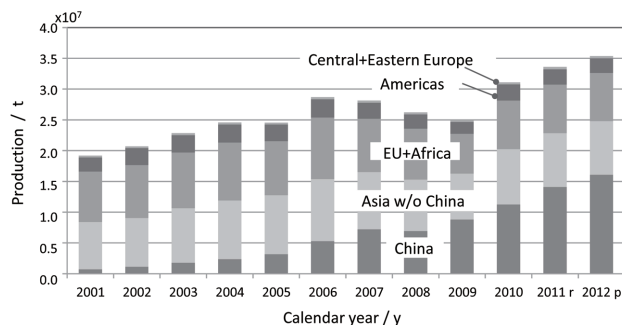


図1 世界のステンレス粗鋼生産量推移 (出典: ISSF Web site)

Changes in crude steel production of stainless and heat resisting steel in the world

* チタン・特殊ステンレス事業部 部長 博士(工学) 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

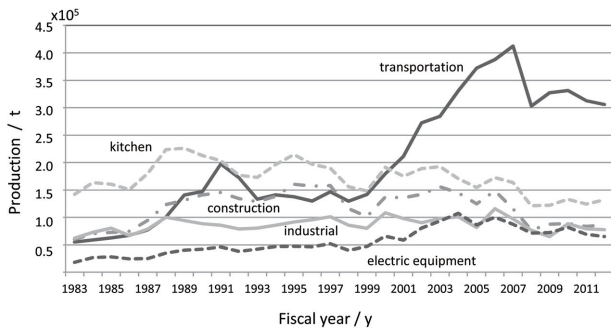


図2 日本のステンレス鋼板用途別需要推移 (出典：日本ステンレス協会)
Changes in consumption volume of stainless steel sheet for various applications in Japan

し、高機能ステンレス鋼を主体に生産している。特に製鋼段階に始まるプロセス最適化に加え、世界最高レベルの鉄鋼研究所の開発力を活用してエンジンヘッドガスケットを中心とする薄物や箔、耐食・耐熱鋼やステンレス鋼など、顧客の高度な要望に応える高機能の特殊ステンレス鋼を開発、製造、販売しており、小回りの効く体制と合わせステンレス鋼業界の中でも特殊な存在感を示している。

図2に日本における用途別の出荷量を示す。1980年代以降は輸送機器用、電器機器用の伸びが大きく、なかでも1990年代以降は輸送機器の、特に自動車用の伸びが大きくなっている。新日鐵住金(株)においても自動車用(エキゾーストマニホールド、エンジンヘッドガスケット)材料の商品化が成長に大きな役割を果たしている。

以下では、新日鐵住金(株)のステンレス鋼事業の変遷と、現在の独自性ある商品構成を紹介する。

2. 新日鐵住金(株)のステンレス鋼事業の歴史

2.1 事業体構造の変遷

特殊ステンレス鋼板材や形鋼製品などのステンレス鋼製品は旧新日本製鐵(株)と旧日本ステンレス(株)を発祥とする。旧新日本製鐵(株)では1921年に八幡製鉄所においてクロム系のステンレス鋼の製造を開始している。

一方、旧日本ステンレス(株)は1934年に現在の製造拠点である直江津に設立された。1968年には鹿島製造所を建設し量産体制を整えてきたが1992年に旧住友金属工業(株)と合併した。この後、2000年に直江津製造所を分社して(株)住友金属直江津とし、経営における意思決定の迅速化を図った。また2003年には量産効果を発揮すべく鹿島製鉄所ステンレス工場を分割し、旧新日本製鐵(株)のステンレス部門と統合して新日鐵住金ステンレス(株)を発足させた。(株)住友金属直江津は2012年に一旦旧住友金属工業(株)と再合併したのち、2012年10月1日より新日鐵住金(株)チタン・特殊ステンレス事業部の直江津製造所として新たなスタートを切っている。

以上の変遷を経て特殊ステンレス鋼製品は直江津製造所

において製造を行っている。

2.2 ステンレス鋼製品の生産品目と変化

現製造拠点である直江津製造所における生産品目とその変化について紹介する。

旧日本ステンレス(株)の発足当初はクロム系のステンレス鋼が主体であったが、戦後はオーステナイト系ステンレス鋼の製造へ拡大してきた。特にステンレス鋼の薄板が流し台のシンクなどで一定の市場規模を獲得した後は、更なる高機能化を目指して1980年代後半に精密品と称する0.3mm以下の薄肉ばね材、クラッド鋼、さらには薄肉ステンレス鋼のエッチング加工を主体とするマイクロ加工事業など事業品目を拡大してきた。

一方でバブル経済崩壊後の市場環境の変化から1996年には各種配管用バルブなどを製造していたステンレス鋼の鋳物事業、1997年にはマイクロ加工事業から撤退した。また2003年には新日鐵住金ステンレス(株)の発足に伴い、SUS304など一般ステンレス鋼の薄板事業は同社へ移管し、量産効果を追求することとなった。

上記の変遷の結果、現時点における特殊ステンレス鋼事業の製品は厚板、形鋼、薄板製品に大別される。このうち薄板製品には建材や家電製品の外装材などで大量に使われる量産・汎用品は対象とせず、ばね材などに代表される精密品、純ニッケル薄板およびアルミニウムとステンレス鋼を圧延接合したクラッドなど生産量は少量であるが付加価値の高い品目に特化しているのが特徴である。

3. 製造体制と製造設備

3.1 形鋼

ステンレス形鋼はアングルやチャンネルなど幅広いサイズバリエーションを持つ製品群である。大半の製品はSUS304やSUS316などの汎用材が主体であり、熱間圧延材を熱処理し、矯正と酸洗の工程を経て出荷している。

形鋼製品の素材であるビレットないしブルームは新日鐵住金(株)和歌山製鉄所で連続鋳造により製造し、これを直江津製造所に搬送して圧延している。まずビレットなどの素材は所定の長さ切断され、加熱炉で加熱される。加熱後の素材は各種の孔型形状を持つロールで順次連続的に圧延され、最終形状に仕上げられる。この際に断面寸法の比較的小さいアングルなどは多数の孔型による圧延を経て長尺の製品となるが、リピーターによって圧延方向を180度転換し、工場設備をコンパクトにしていることが特徴である(図3)。複雑な断面形状を持つアングルをリピーターで方向転換するには高度な設備構成が必要であるが、シミュレーション技術と永年の経験をもとにした設備改良により安定した製造を可能としている。

圧延後の素材は矯正工程によって最終形状を確定し、さらに熱処理とショットブラスト、酸洗および外観と寸法検



図3 ステンレス形鋼用熱間圧延機
Hot rolling mill for rolled shape stainless steel



図5 厚板圧延用 2Hi 熱間圧延機
Hot rolling mill for stainless steel plate

		thickness (mm)												
		3	4	5	6	7	8	9	10	12	15			
width(mm)	20													
	25													
	30													
	40													
	50													
	60													
	65													
	70													
	75													
	80													
	90													
	100													
	125													
	127													
	150													

図4 アングル材の製造可能範囲
Available size range for equal angle stainless steel

査を経て、製品に仕上げられている。

形鋼製品における特徴は、幅広い製品サイズのバリエーションを有することであり、アングルの例として図4に示す通り、独自の製品サイズを、特に大形側で有している。

直江津製造所ではアングルおよびチャンネルの圧延を主体として行っている。またH形鋼や特殊サイズのチャンネルなど一部のものは外注加工により製造しているが、出荷前の段階で直江津製造所による一貫した品質管理を実施している。

3.2 厚板

ステンレス鋼厚板は和歌山製鉄所で製造した連続铸造スラブを直江津製造所で熱間圧延して製品化している(図5)。熱間圧延後は熱処理、矯正および酸洗の工程を経て製品とされる。

ステンレス鋼厚板製品は、いわゆる汎用ステンレス鋼は少なく、特殊耐熱鋼など熱間加工性の乏しい難加工性材料が多い。難加工性材料の熱間圧延では圧延温度を所定の範囲に制御することが重要となるが、直江津製造所ではコンパクトな可逆式の2段圧延機を加熱炉の近傍に設置することで、精密な圧延温度の制御を可能としている。

また例えば SUS303 鋼では機械加工性を改善するために硫黄を多量に添加している結果、熱間加工性が低下し、铸造スラブのままでは圧延することが出来ない。このような

難加工性材料については熱間圧延に先だって熱間プレスで铸造スラブを鍛造することによって熱間加工性を改善し、厚板圧延での割れを防止している。

以上のようにコンパクトな設備を活かした小回りのきく製造体制を取ることと、付帯設備の活用や操業の工夫などを通して、大量産設備では対応不可能な特殊材料など製品の多様性を広げている。

3.3 薄板

ステンレス鋼および純ニッケルの薄板の製造工程は、まず新日鐵住金(株)和歌山製鉄所で溶解、精錬後に連続铸造によりスラブを製造し、これを八幡製鉄所にて熱間圧延でホットコイルにする。このホットコイルを直江津製造所に搬送して冷間圧延工程を進める。

ステンレス鋼のばね材を例にとりて冷間圧延工程を説明すると、まずホットコイルを焼鈍したのち中間板厚まで冷間圧延する。この中間板厚で仕上焼鈍したのち、仕上圧延によって目的の板厚にするともに材料に所定の硬度を与える(調質圧延)。調質圧延量は、製品の要求硬度に合わせて設定する。調質圧延後はテンションレバラーで形状を矯正し、製品として出荷される。

冷間圧延は6段あるいは20段のレバースタイプの冷間圧延機をホットコイルの圧延など板厚の厚い側で、6段の精密圧延機(図6)を仕上圧延で使い分けている。

ステンレス鋼のばね材においては1/2H材、3/4H材、H材などの硬度が質別として定められており、これらの硬さ範囲に収まるように調質圧延条件を制御することが重要となる。特に301に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼のばね材は、硬質の加工誘起マルテンサイトを調質圧延中に生成させることにより硬度を制御しているが、この生成挙動には圧延加工度以外に圧延温度などが大きく影響を与えるため、コイルの成分や気温などを総合的に考慮したきめ細かな製造条件の管理が重要である。

また冷間圧延とともに焼鈍工程の管理も品質の上で重要である。ホットコイルの焼鈍は大気雰囲気での焼鈍と酸洗の連続ラインで処理している。また調質圧延前の仕上焼鈍

では窒素と水素の混合ガスによる非酸化性雰囲気ですべて連続焼鈍している。仕上げ焼鈍は素材を軟化させるだけでなく、例えばエッチング用途における濡れ性など個別に重要な特性に影響を与える。このため仕上げ焼鈍炉は連続処理設備であるが、焼鈍雰囲気の露点管理などが必須の要件となる。

さらに薄板の製品では表面疵の発生を防止することが重要であり、特にばね材では表面疵が存在すると早期に疲労破断を招くなど、製品の機能を損なうために徹底した管理が必要である。このためホットコイルの表面疵の撲滅を徹底するとともに、製品検査では CCD カメラを用いた疵検査装置を導入し、表面疵の見逃しによる流出を防止している。

ステンレス鋼以外にリチウムイオン電池の電極用を中心に純ニッケル薄板も量産製造しているが、基本的にステンレス鋼薄板と同様の工程で製造している。さらに、薄肉側では 20 μ m 厚までのステンレス鋼あるいはニッケル箔も製造しているが、この圧延では 12 段のクラスター圧延機を用いている。図 7 に直江津製造所における薄板の製造可能範囲を示す。

薄板のもう一つの品種としてクラッド鋼がある。直江津製造所では熱間圧延法と冷間圧延法の 2 種類の方法で製造



図6 ステンレス鋼仕上げ圧延用精密圧延機
Precision rolling mill for finish rolling of thin stainless steel sheets and coils

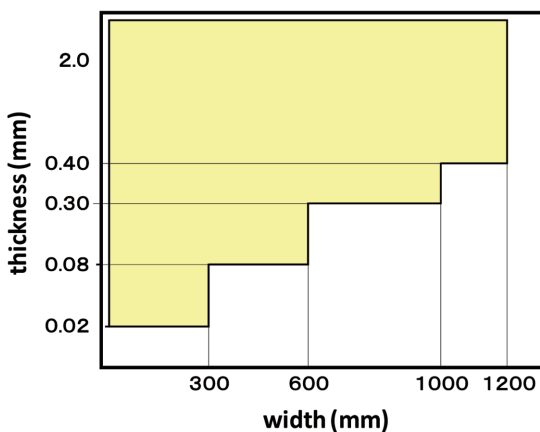


図7 薄板の製造可能範囲
Available size range for thin sheet and coil products

している。

熱間圧延法ではまず複数の厚いスラブを重ね合わせて電子ビーム溶接により圧延用のスラブを組み立て、このスラブを通常のステンレス鋼と同様に熱間および冷間で圧延することにより薄肉のクラッド材を製造する。この方法では、一例として炭素鋼を芯材とし両側表面を SUS304 のステンレス鋼としたクラッドコイルを製造している。芯材の炭素鋼によって優れた誘導発熱特性を持ちつつ、表面のステンレス鋼の優れた耐食性を活用できることから、高級調理鍋などに使われている。

もう一つは冷間圧延法によるクラッドで、アルミニウムとステンレス鋼の薄板コイル材を適温に加熱して連続的に圧延接合する方法である。このクラッドについては本誌に掲載されている詳細な報告を参照いただきたい。

3.4 研究開発体制

前記の通りチタン・特殊ステンレス事業部のステンレス鋼部門では特殊材に特化しているため、常なる新製品の研究と開発が不可欠である。

新日鐵住金(株)は技術開発本部のもとに鉄鋼研究所を有しており、専門の研究者を配して研究開発を続けている。さらに直江津製造所にも研究者が駐在し、製造現場における問題点のフィードバックや新製品開発の迅速化を図っている。また圧延、熱処理などの要素技術についても各研究部門と密接に連携を図っており、世界有数の手厚い陣容を誇っている。

表 1 に過去 5 年間における特殊ステンレス鋼事業関係者による製品技術に関連した受賞履歴を示す。4 年連続で日本金属学会から技術賞をいただくなど、顧客と共同開発を活発に行ってきた成果が明確に表れているものと考えられる。今後とも先端的な分野に向けたステンレス鋼の開発と適用を精力的に進めてゆく必要があると考えている。

4. 主要製品の紹介

4.1 ステンレス形鋼

ステンレス条鋼製品 (Long Products) の内、図 8 に形状を示す形鋼 (アングル, チャンネル, H 形鋼), 平鋼 (フラットバー) を製造している。材質別には、耐食性に優れると共に溶接性にも優れる SUS304 を中心に、化学プラント部品等、より耐食性が求められる用途に適した SUS316、およびそれぞれの低炭素材 (L 材)、耐力の高い建築構造用ステンレス鋼材 (JIS G 4321) の SUS304A と SUS316A がある。

普通鋼と比べ、ステンレス鋼は耐食性に優れるため表面の塗装が不要でメンテナンス性に優れる。表面仕上げには酸洗肌 (No.1) とヘアライン研磨肌があり、用途によって使い分けられる。

販売はステンレス形鋼を扱う大手流通、再販業者を經由しており、量対応、長さ調整、各種サイズ在庫等の長所を

表1 特殊ステンレス鋼関係者による受賞リスト
List of awards by the members regarding stainless steels in recent 5 years

Year	Award	Subject
2008	The Japan Institute of Metals Technical Development Award	Development of fine grain stainless steel for high fatigue strength cylinder head gasket
2009	The Japan Institute of Metals Technical Development Award	Development of stainless steel foil for PEFC separator
2010	The Japan Institute of Metals Technical Development Award	Development of heat resistant stainless steel for high temperature heat exchanger
	Prize of Science and Technology by the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology	Development of high fatigue strength stainless steel for gasket
	Sokeizai Center. Sokeizai Industry Technology Award	Development of heat resistant stainless steel for exhaust manifold
2011	The Japan Institute of Metals Technical Development Award	Development of fine precipitation dispersed stainless steel for high pressure combustion cylinder head gasket

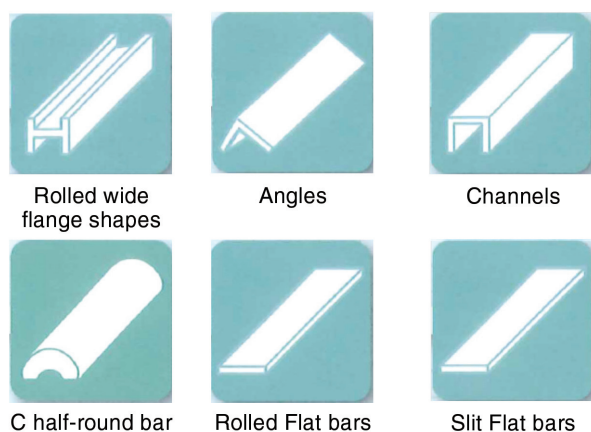


図8 形鋼製品形状
Shape of stainless shaped rolled products



図9 ステンレス形鋼の使用例 (ホテル霧島キャッスル)
Example of an application of stainless shaped rolled products, courtesy to Hotel Kirishima Castle

もち、顧客への即納が可能となっている。

おもな用途とその特徴を以下にまとめる。

- 建築分野においては、2002年の建築基準法施工令改正により、ステンレス鋼を一般鋼材と同様に柱や梁など建築構造材に適用出来るようになり、耐久性を活かした応用が可能となった(図9)。
- 土木分野においては、ダムや水門等のレールや枠、補強材等に使われている。また、高速道路地下部分等排気ガス環境での金物等にも使われている。
- 食品・厨房分野においては流し台、ガス台、調理台等に使用され、水周りでもさびが出ず長期間清潔な環境が保てる。
- プラント分野においては、石油、化学、他プラントで、耐食性を活かした構造材、補強部材として使われている。アングル、チャンネル共にコーナー部の小R形状、表面品質の良好な点が、新日鐵住金材をはじめとする日本製形鋼の特徴となっており、海外材との差別化につながっている。

4.2 ステンレス鋼厚板

特殊ステンレス鋼厚板製品の主要用途は耐熱用途、耐食用途の2分野で、それぞれにおいて特徴的な独自鋼種を製

造している。

(1) 耐熱用途

ステンレス鋼は炭素鋼と比べて耐熱性に優れ、中でも特にオーステナイト系が高温域で使われている。火力発電所ボイラの伝熱管支持金具、工業炉、その他耐熱構造部材の厚板用途には、通常 SUS310S が使われているが、新日鐵住金(株)のオーステナイト系耐熱ステンレス鋼 NSSMC-NAR-AH-4 はこれを上回る特性を持つ。石炭利用高効率発電方式の加圧流動層複合発電設備用の材料として開発された NSSMC-NAR-AH-4 は、SUS310S と比較し、高温強度に優れ、耐クリープ特性、耐酸化性、溶接割れ感受性においても優れている。また、700～900℃の高温域での組織安定性にも優れるため、金属間化合物(σ相)の析出による脆化を起こしにくく、耐熱部の長寿命化に貢献するため、製鉄設備(加熱炉、各種バーナーノズル、防熱板、他)、一般熱処理炉(マッフル、治具、他)、焼却炉(ガス化溶融炉、他)、ロータリーキルン等に適用が広がっている(図10)。

(2) 耐食用途

腐食環境には淡水に近いマイルドなものから強酸等まで

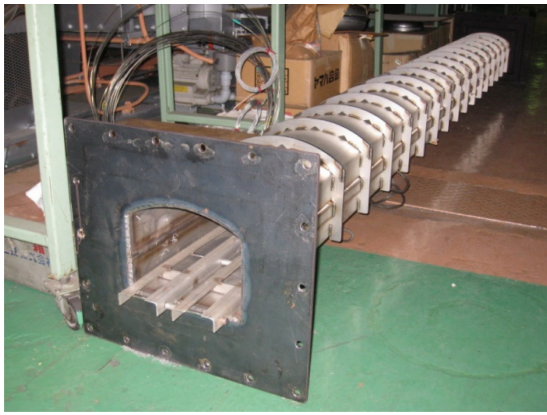


図10 AH-4の使用例(関東冶金工業(株))
Example of an application of AH-4, courtesy to Kanto Yakin Kogyo Co. Ltd.

種々あり、腐食の原因となる化学成分、濃度、温度等の条件によっても適切な材料が異なり、それに応じた合金を開発してきた。さらに鋼管事業部と共通鋼種の厚板を製造しているため、化学プラント等にシームレスパイプと板を同一鋼種で提供可能であり、顧客の設計自由度に貢献している。また顧客と共同開発したものが多く、顧客からの高度な要求に対応することで市場のニーズをとらえ、同時に技術力を磨いてきたことが特殊ステンレス鋼事業の強みとなっている。以下に耐硝酸用 NSSMC-NAR-SN-1、耐塩化物用 NSSMC-NAR-DP-3W、尿素プラント用 NSSMC-NAR-DP-28W の例を紹介する。

耐硝酸用 NSSMC-NAR-SN-1 は図 11 に示す通り、従来はステンレス鋼の使用が困難だった濃硝酸を含む全濃度の硝酸に対して優れた耐食性を示す。低濃度域では、硝酸の酸化力によりステンレス鋼表面に強固な不動態皮膜が生じるため SUS304L や SUS316ELC でも優れた耐食性を示すが、高濃度、特に 98%硝酸では一般的にステンレス鋼は過不動態となり激しく粒界腐食する。従って高濃度硝酸環境では、アルミニウム、チタン、ガラスライニング等が使われてきた。しかしアルミニウムは 95%以下の濃度では腐食が激しく、ガラスライニングは脆く修理が難しい等の課題がある。それに対して NSSMC-NAR-SN-1 は全濃度で耐食性に優れ、強度、靱性があるため構造材料として大型装置への適用にも適しており、硝酸運搬船、硝酸タンク、配管等に使われている。

耐塩化物用 NSSMC-NAR-DP-3W は耐孔食指数 42 以上を持つスーパー二相ステンレス鋼であり、耐塩化物腐食に優れる。もともと塩化物腐食環境の厳しい熱交換器および配管類の鋼管用材料として開発され、シームレス海底配管等に多数の採用実績を持つ。高モリブデンの他のスーパー二相合金と比較して、特に溶接による耐食性劣化が少なく TIG 溶接、被覆アーク溶接の施工性に優れている。製塩プラント、醬油醸造タンク、海水ポンプ等での採用実績を持ち、今後も幅広く採用されていくと考えられる。

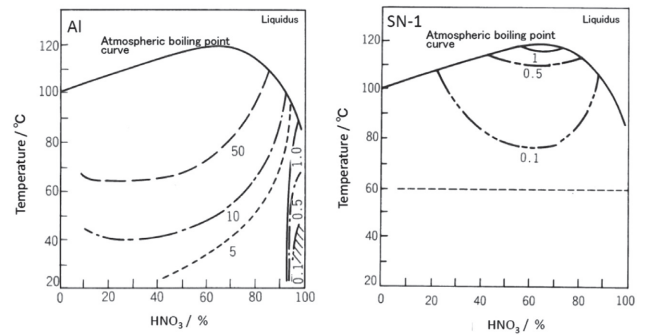


図 11 NSSMC-NAR-SN-1 (650°C, 2時間鋭敏化後)の耐硝酸性(等腐食度曲線, mm/y)

Corrosion rate (mm/year) of NSSMC-NAR-SN-1 (subjected to sensitization for 2 hours at 650°C) in nitric acid solutions

尿素プラント用 NSSMC-NAR-DP-28W (28Cr-8Ni-Mo-W-N) は東洋エンジニアリング(株)(以下、TEC)と共同開発した、厳しい腐食環境の尿素合成プラントに最適の二相ステンレス鋼で、2003年の開発以来、TECの省エネルギー型新尿素合成プロセス“ACES21®”に採用されている。シームレス鋼管は鋼管事業部尼崎製造所で、厚板はチタン・特殊ステンレス事業部直江津製造所で製造している。

近年、肥料や化粧品の原料、ディーゼルエンジン車の排気ガス還元剤等として尿素の需要が高まっており、それに伴い尿素製造プラントの数も増えている。

尿素の合成過程では非常に腐食性の高いアンモニウムカーバメートが発生するため、プラントには耐食性、強度に優れる素材が必要とされている。NSSMC-NAR-DP-28W は、高強度とアンモニウムカーバメートに対する高耐食性を併せ持つ世界トップクラスの材料で、尿素製造プラントの重要材料となっている。また、高クロムで Ni 添加量が少ないため、高濃度アルカリ環境、さらにアミンが共存する環境でも耐食性に優れ、30Cr系材料と耐食性が同等でかつ入手性が良いため、耐アルカリ材料としても広がっている。

(3) 原子力用途

原子力発電プラントにはステンレス鋼が多用されているが、使用済み核燃料を中間貯蔵するためのラック、キャスク用にほう素を約 1%含む 304系ステンレス鋼厚板を製造している。天然のほう素(B)は中性子吸収断面積が大きい¹⁰Bを約 20%含んでいるため、ほう素を添加した 304 は、中性子吸収能力が大きく、構造物として十分な強度をもち、ほう酸水中でも腐食がほとんど起きない優れた特徴をもつが、熱間加工性が悪く製造が難しい。これに対し厚板の製造設備を駆使した長年にわたる製造ノウハウの蓄積が、新日鐵住金(株)の特徴となっている。

(4) 厚板受託圧延

厚板圧延ミルの加熱炉と圧延機間の距離が短く、圧延開

始までの温度低下が小さく抑えられる利点を活かし、難圧延材の受託圧延を行っている。また SUS303 の様な熱間圧延時に耳割れを生じやすい材料の圧延も得意としており、多ヒート圧延や小寸対応、小ロット対応、等により、他では対応困難なターゲット材料等の圧延でも多くの実績を上げている。

4.3 ステンレス鋼薄板

新日鐵住金(株)の薄板事業は溶解から一貫製造できる利点を活かし、顧客のニーズに直結した特殊製品の開発、提供を特徴としており、研究所で開発した独自の高性能材料と併せて、様々な分野で用途を広げている。

高性能材が求められる用途としては自動車、電子機器や、最近では二次電池、エネルギー分野が多い。こういった高性能材料は必ずしも大量に使用されるものではないが、特定の用途や分野において、新日鐵住金(株)の製品は不可欠な存在となっている。

高性能の実現には、ニオブや窒素あるいは希土類元素等の添加による諸特性向上といった成分設計だけではなく、製造条件の厳密管理による結晶組織の制御や焼鈍時の窒素吸収の活用など生産技術と組み合わせるものも多い。汎用材と比較して高性能材は高価になることが多いが、それを上回る機能を顧客に認められている。新日鐵住金(株)では、(i) 板厚が 0.3mm 以下、(ii) 板厚精度の要求が高い、(iii) 冷間圧延仕上げ(ばね材)の何れかを満たす薄板を精密圧延品と呼び、新製品の開発と市場の開発を進めてきた。

4.3.1 精密圧延品の代表的品種

(1) ガasket用ステンレス鋼板(図12)

エンジンのシリンダーヘッドとシリンダーブロックの間に挿入されるシリンダーヘッドガスケットには、板厚が 0.2mm 程度の SUS301H が多用されている。これに対して、より機能性に優れた材料系と経済性に優れた材料系の2方向に開発を展開し、そのシリーズ化に成功している。

まず高性能系においては疲労強度に優れた NSSMC-NAR-301L HS1 (以下 HS1) を開発した。シリンダー内で燃料が爆発する毎にシリンダーヘッドが持ち上げられるため(ヘッドリフト)、ガスケットにはこれに追随し、シリンダー内部の流体の漏えいを防止するばね性と繰り返しの応力に耐える疲労強度が要求される。エンジンプロックの軽量化や燃焼効率向上を目的とした燃焼圧の上昇が進むとヘッドリフト量が増大するため、疲労強度に優れた材料が必要となる。HS1 では炭素含有量を低減し、窒素とニオブを添加した独自の成分系を採用し、製造工程を総合的に調整して平均結晶粒径を 1~2 μm まで微細化することにより疲労強度を向上させている(図13)。

その後、自動車の燃費性能のさらなる向上要求を背景に最大燃焼圧はさらに上昇し、より過酷化したガスケット

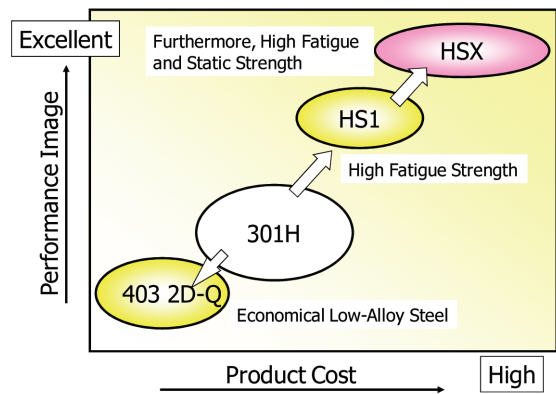


図12 ガasket製品のラインナップ
Lineup of gasket materials by NSSMC



図13 NSSMC-NAR-301L HS1 製のヘッドガスケット
Head gasket by NSSMC-NAR-301L HS1

環境に対応可能な超高機能ガスケット材として、NSSMC-NAR-301L HSX (以下 HSX) を開発し市場に提供している。HSX では光輝焼鈍炉で熱処理する際に表層からの窒素吸収を促進させ、HS1 よりも優れた疲労特性と静的強度の両立に成功した。

一方で経済性に優れた材料系として、マルテンサイト系ステンレス鋼を光輝焼鈍炉で焼入れ硬化させた NSSMC-NAR-403 2D-Q を開発した。本鋼は合金添加元素が少なく、経済性に優れたステンレス鋼ばね材としてガスケット以外の用途にも採用が広がっている。

(2) 精密加工用ステンレス鋼板

高い精度が要求される電子機器用の部品では、フォトエッチング加工やレーザー加工を用いて製造されることがある。このような用途では、平坦で加工後の変形が小さい材料が求められており、かつでのマイクロ加工事業(エッチング加工)での経験やノウハウを活用して SUS304 H-SR を開発、提供してきた。この材料では、形状矯正で材料を平坦化した後、熱処理によって残留応力を低減している。また、残留応力低減の熱処理後に酸化皮膜の改質処理を行うことにより、フォトエッチング加工で材料に塗布されるフォトレジストとステンレス鋼板との密着性を向上させている。

この酸化皮膜の改質処理には、プレス金型の摩耗を抑制する効果も確認されており、大量のプレス加工が実施されるミニチュアベアリング用のリテーナー材等でも活用され

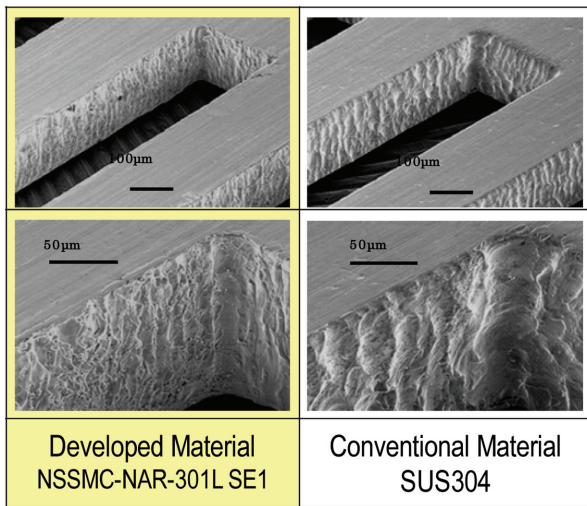


図 14 レーザー加工面における NAR-301 LSE1 の表面平滑性評価結果
Advantage in smoothness on laser cut surface on NSSMC-NAR-301L SE1

ている。

また最近では、SUS304 の成分はそのまま、製造条件を精細に制御、管理することにより、加工後の材料変形量をさらに抑制した SUS304 H-SR2 を開発、提供し、高い評価を得ている。

さらに SUS304 H-SR の製造工程とガスケット材で開発した結晶粒微細化技術を融合することで、より微細加工性に優れた NSSMC-NAR-301L SE1 (以下 SE1) を開発、提供している (図 14)。SE1 は、エッチング加工面の平滑性やレーザー加工性に優れた高機能材として高く評価されている。電子部品の表面実装において、適量のはんだペーストを基板上の適切な位置に印刷するステンシルとしてステンレス鋼板 (メタルマスク) が使用されている。近年、携帯型電子機器での表面実装密度の上昇に伴い、印刷性に大きく影響するレーザー加工性に優れた SE1 の採用が広がっている。

(3) 純ニッケル箔

リチウムイオン二次電池の負極部では耐食性に優れた純ニッケル箔が内部リード材として使用されている。板厚は 0.05mm から 0.1mm、板幅は狭いものでは 2mm のものが量産されている。新日鐵住金(株)では溶解からの一貫生産を特徴としており、微量成分の制御による接続信頼性の確保や精密スリットによる加工ばりの抑制など、顧客の要望を満足する製品を提供している。

4.3.2 精密品以外の薄板製品

(1) 高耐熱ステンレス鋼薄板

厚板用に開発された NSSMC-NAR-AH-4 を薄板化し、自動車のエキゾーストマニホールド (以下エキマニ) 材として提供している。高温強度や耐酸化性に優れているため、薄

肉化が可能となりエキマニの熱容量が低減できるので、冷間始動時の排気ガスの清浄化に貢献している。

またエキマニ以外の耐熱用途においても薄板製品を提供しており、例えば水蒸気の含有環境で優れた耐高温酸化性を有する NSSSM-NAR-AH-7 や高温の塩素含有環境で優れた耐食性を有する NSSMC-NAR-AH-1 を開発している。NSSSM-NAR-AH-7 では水蒸気を含有する高温ガス環境における熱交換器用部材として実用化されている。また NSSMC-NAR-AH-1 では家庭用の調理器具などで用いられるシーズヒータなどに適用されている。いずれの材料も Ni などの高価な合金の添加量を削減し、経済性に優れていることが特徴である。

(2) クラッド鋼板

熱伝導性に優れたアルミニウムと誘導発熱性に優れたフェライト系ステンレス鋼を接合し複層化したアルミニウム/ステンレス鋼クラッドを製造しており、炊飯器を始めとする誘導加熱を用いる調理器物の素材として利用されている。構成は、アルミニウム/ステンレス鋼の二層だけでなく、ステンレス鋼/アルミニウム/ステンレス鋼の三層構造も実用化されている。またステンレス鋼にかわって工業用の純チタンを適用することも可能である。広幅長尺のコイル接合が可能であり、生産性と接合信頼性に優れている。

炊飯器の用途では誘導加熱特性の改善を目的として鍋の表面に銅めっきが施されたものがある。アルミニウム/ステンレス鋼の二層クラッドコイルを円盤状に打ち抜いた後、直江津製造所内で所定の肉厚まで銅めっきして出荷されている (図 15)。

マルテンサイト系の硬質なステンレス鋼板とアルミニウムを接合した三層クラッドも実用化されており、強度と放熱性が要求される用途で活用されている。

(3) 電極用純ニッケル薄板

耐食性に優れた水素過電圧の小さい純ニッケルは、工業用の電解電極としても使用されている。例えば水酸化ナトリ



図 15 SUS/Al クラッド製の IH ジャー炊飯器用内鍋
Cooking pot for IH rice cooker with stainless/aluminum clad material

ウムの電解製造工程では、陰極に純ニッケル、陽極にチタンが使用されている。新日鐵住金(株)は両極の材料をセットで提供することが可能である。

(4) 燃料電池用ステンレス鋼薄板

燃料電池はクリーンエネルギー源として今後の展開が期待されている。この部材であるセパレーターには優れた耐食性と接触抵抗が小さく安定していることが求められる。ステンレス鋼は不動態皮膜によって耐食性は確保されるものの、接触抵抗は高いという欠点がある。そこで、合金中に特定の元素を添加し、鋼板表面にその導電性化合物を析出させることによって、耐食性と接触抵抗を両立させたステンレス鋼板を開発した。今後の燃料電池の本格普及が期待される。

5. まとめと今後の発展

ステンレス鋼はその機能性を生かして常に新しい用途を開拓することで産業として発展してきた。また新日鐵住金(株)は特殊ステンレス鋼の機能性を追求することをビジネスモデルとして事業を展開してきた。近年他国との競争が一層激しくなっており、継続的な研究開発による商品の高機能化とコスト競争力の強化が一段と重要になっている。

そのために、まず研究開発においてはこれまで蓄積した材料技術および顧客と構築した密接な連携を活用して、耐熱材やガasket材などの自動車関連製品、電池などのエネルギー関連分野に向けた製品開発を加速して行く方針である。また新日鐵住金(株)が高い競争力を持っているパイプ事業などと連携し、エネルギーや化学分野などにおける

新規用途の開拓を図ってゆく。さらに製造能力の最適化、安定化や新工法の採用による歩留まりの向上などを通して継続的にコスト競争力を磨いてゆく所存である。

参照文献

- 1) ステンレス鋼の科学と最新技術—ステンレス鋼100年の歩み—初版. 東京, ステンレス協会, 2011
- 2) International Stainless Steel Forum Website, Statistics of crude steel production
- 3) ステンレス協会, 用途別受注統計. 2013
- 4) 日本ステンレス(株): 白い鋼 日本ステンレス 50年史. 1984
- 5) 松田隆明: 日本ステンレス技報. No.23, 73 (1988)
- 6) 近藤邦夫 ほか: までりあ. 36 (6), 637 (1997)
- 7) 小川和博 ほか: までりあ. 51 (2), 67 (2012)
- 8) 西山佳孝 ほか: 住友金属. 49 (4), 50 (1997)
- 9) 桂井隆: HONDA R&D Technical Review. 12 (1), 151 (2000)
- 10) 安達和彦 ほか: までりあ. 47, 36 (2008)
- 11) 西山忠夫 ほか: HONDA R&D Technical Review. 20 (1), 105 (2008)
- 12) 安達和彦 ほか: までりあ. 50, 120 (2011)
- 13) 平原一雄: 素形材. 49 (1), 19 (2008)
- 14) 藤澤一芳: 素形材. 53 (1), 33 (2012)
- 15) 渋谷将行: コンバーテック. 40 (7), 75 (2012)
- 16) 石井和夫 ほか: HONDA R&D Technical Review. 14 (2), 69 (2002)
- 17) 渋谷将行 ほか: 素形材. 51 (12), 30 (2010)
- 18) 土井大治 ほか: 住友金属. 45 (5), 145 (1993)
- 19) 岩崎信吾 ほか: 住友金属. 49 (4), 38 (1997)



山出善章 Yoshiaki YAMADE
チタン・特殊ステンレス事業部 部長
博士(工学)
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



黒田篤彦 Atsuhiko KURODA
チタン・特殊ステンレス事業部
チタン商品技術室 上席主幹 工学博士



渋谷将行 Masayuki SHIBUYA
チタン・特殊ステンレス事業部
特殊ステンレス商品技術室長



高梨 憲 Ken TAKANASHI
チタン・特殊ステンレス事業部 部長