

ステンレス鋼の技術進歩と今後の展望

Technical Progress of Stainless Steel and Its Future Trend

渡 辺 純 夫⁽¹⁾
Sumio WATANABE

抄 録

鉄需要が世界的に飽和状態にある中で、ステンレス鋼はその生産・需要を大きく伸ばしている。これには価格が高いといわれながらも、製造技術の開発・改善により大幅な製造コスト低下と、用途に合致した新規材料開発が相まってステンレス鋼の価値が認められた成果といえる。地球環境問題、労働環境対策が叫ばれる中で今後この傾向は一層加速するものと期待される。これを推進するためには製造コストの一層の低減、適切な材料開発とその利用加工技術確立を強力に進めていく必要がある。ここにステンレス鋼製造技術、材料開発の進歩の歴史を振り返ると共に、今後の動向について展望した。

Abstract

While there is little demand for iron and steel products worldwide, a demand for stainless steel continues to expand largely and its production is increasing. This follows the results that the value of the stainless steel has been recognized through the sharp decrease in its manufacturing cost by improving manufacturing techniques and the successful development of new types of stainless steel having specific properties which are fit for rightful uses, even though it is said in one view that the stainless steel has risen in price. Both efforts of the reduction in cost and the development of new stainless steel materials will be further accelerated hereafter under the circumstances of advocating the conservation of earth resources and the labor environmental policy. A further reduction in manufacturing cost, a potential development of appropriate materials to be served and a determined establishment of material processing techniques, these should be required to push this trend forward. In this paper, the history of stainless steel manufacturing techniques and the progress of the material's properties are traced and the future trend of the stainless steel is surveyed.

1. 緒 言

1958年にわが国で初めてステンレス鋼薄板の量産が開始されて以来、約半世紀近くを経過した。この間、製造技術・設備の飛躍的向上と相まって生産・需要とも目覚ましい拡大を続けてきた。鉄にクロムを添加していくと耐食性が向上するが、製造の歴史はこのクロムを最大限有効に生かすことと、とかく高いといわれる価格を下げるべく製造コスト低減の歴史であった。また、材料についてはステンレス鋼本来の特性である耐食性を主体に、耐熱性、加工性、溶接性、磁性、意匠性等、鉄と違って幅広く要求される各種用途に適合する種々のステンレス鋼が開発されてきた。

今後については、鉄のプロセスと一体になった一層の製造技術開発、製品では地球環境対策としての自動車排気ガス規制の強化、家電商品のリサイクル化、ダム・せきのメンテナンスフリー化、労働環境も踏まえためっき・塗装省略等としてのステンレス鋼開発とその適用が進展していくものと期待される。以下にその歴史を振り返りつつ、今後の展望について述べてみたい。

2. ステンレス鋼の生産量の推移

1960年以降における世界及び日本のステンレス鋼生産量の推移を図1¹⁾、2²⁾に、またステンレス鋼の形状別生産量を表1に示す。1980年以降鉄鋼生産が停滞している中でステンレス鋼の伸びは、西側世界で年率14%、日本で年率11%に達しており、今後ともNIES諸国、中国等を中心に世界平均で年率5~6%程度伸びが期待されている。形状別に見ると、需要の過半数を占める鋼板・鋼帯の伸びが

表 1 ステンレス鋼熱間圧延鋼材形状別生産量(単位:1000t, %)

形 状	1984年度	1994年度	94/84	平均伸び率
薄板・帯鋼	1 366	2 008		4.7
厚 板	225	232		0.3
線 材	183	282		5.4
棒 鋼	147	156		0.6
形 鋼	33	56		7.0
管 材	116	148		2.8
合 計	2 071	2 883		3.9
Cr系	654	846		2.9
Cr-Ni系	1 417	2 037		4.4

⁽¹⁾ ステンレス鋼板営業部 室長

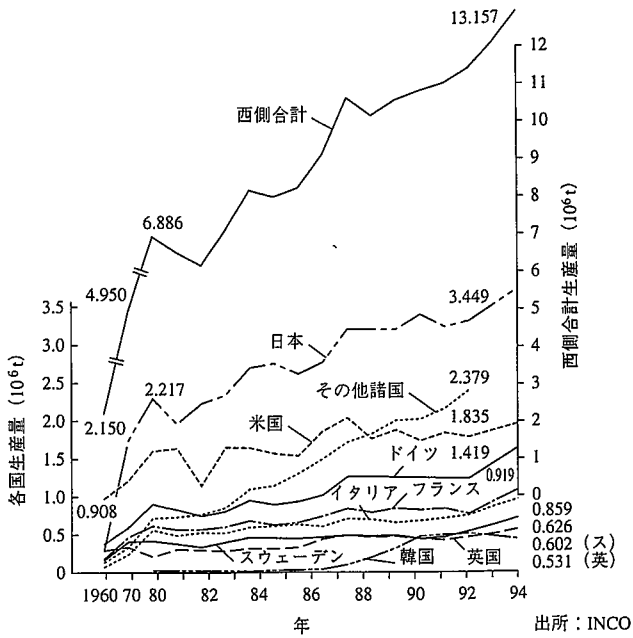


図1 主要国別のステンレス粗鋼生産量

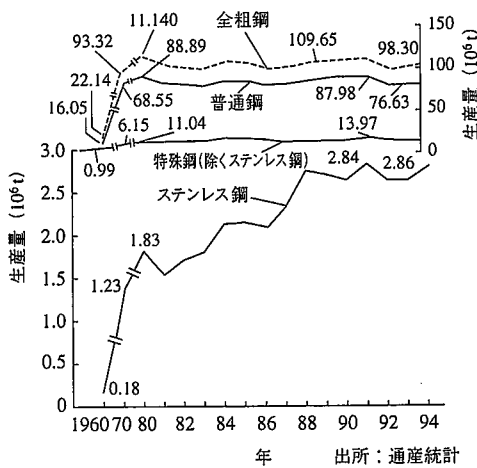


図2 全粗鋼及び鋼種別熱間圧延鋼材生産量の推移

大きい。需要分野別に見ると自動車、家庭用電気機器、建設用が大きく伸びていることが分かる(図3参照³⁾)。また鋼種別に見ると、自動車・電気機器を中心にフェライト化が進展しているものの、全体的にはオーステナイト系ステンレス鋼の方が伸び率がやや高くなっている。

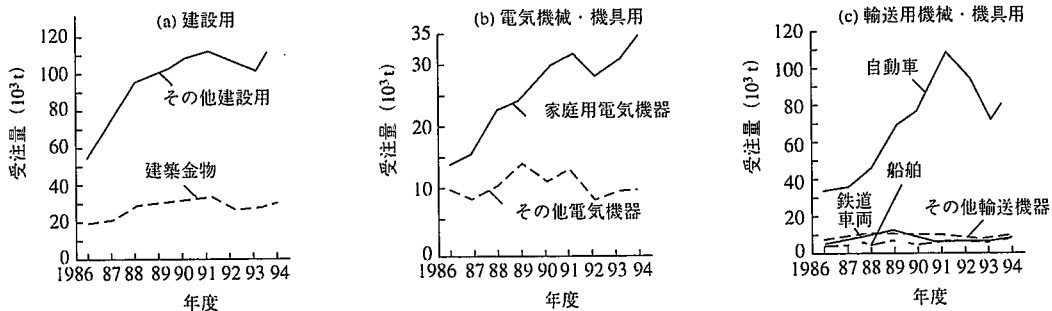


図3 ステンレス鋼板の用途別受注量推移

3. ステンレス鋼製造技術の変遷

3.1 製鋼技術

3.1.1 精錬技術

ステンレス鋼製のポイントは安価原料を使用して、効率よく精錬し、歩留よく熱間加工性に優れた凝固をさせることにある。炭素鋼との主な違いは、ステンレス鋼の主成分であるクロムが炭素の活量を低下させ、特に低炭素域でクロムが酸化しやすくなるため、クロムの酸化を抑制するために炭素鋼の精錬法とは異なり種々の試みがなされてきた。1967年、1968年とほぼ時を同じくして、Edelstahlwerke Witten社によるVOD法(Vacuum Oxygen Decarburization)と、Union Carbide社によるAOD法(Argon Oxygen Decarburization)が開発され、従来の電気炉法に代わってこの両法が世界のステンレス鋼精錬法の主流を占め、現在に至っている。この外に真空を利用した精錬プロセスとして、新日本製鐵室蘭製鐵所で開発したRH-OB法(RH-Oxygen Blowing)がある。保有設備から推定したプロセス別生産量を図4に示す。

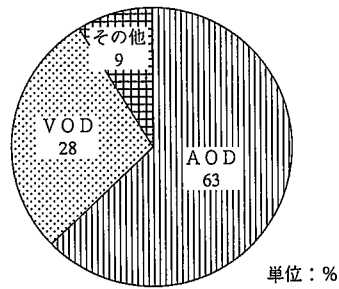


図4 製鋼プロセス別生産比率

精錬機能としては脱炭の外、特にフェライト系ステンレス鋼において炭素同様侵入型元素である窒素の除去が肝要であり、極低炭素・極低窒素ステンレス鋼を効率よく精錬するため、上記両法をベースにした技術開発が進められてきた。その主なものを挙げると、取鍋底から複数のポーラスプラグにより大量のArガスを吹き込むことにより溶鋼を強攪拌して極低炭素・窒素域まで精錬するSS-VOD法⁴⁾(Strongly Stirred-VOD)、減圧下で溶鋼表面上に粉体状の精錬剤(鉄鉱石、生石灰系の脱硫剤等)を上吹きし、溶鋼中に侵入した粉体により脱炭・脱窒を促進させるVOD-PB法⁵⁾(VOD-Powder Blowing⁵⁾)、粉体の代わりに溶鋼中に水素ガスを吹き込む方法、AOD法に真空を付与して高価なArガス節減と極低炭素・窒素域を可能としたVCR法⁶⁾(Vacuum Converter Refiner)、RHに酸素上吹きし導入したKT B法⁷⁾(Kawatetsu Top Blowing)、A O

D法とVOD法とを結合したAOD-VOD法⁶⁾がある。これらをまとめて表2に示す。現在では20~30%クロム含有鋼で、[C+N]100ppmを切るレベルが達成できるようになっている。今後、製造コスト低減の外、特にフェライト系ステンレス鋼において炭素・窒素が特性に及ぼす影響の明確化と相まって一層の効率的プロセスの開発が進むものと思われる。

原料コスト低減の試みとして、鉍石の溶融還元法がある。これは上記の精錬に先立ち転炉等を利用してNi鉍石、Cr鉍石などの安価原料を添加し、コークス・酸素による反応熱によりステンレス鋼溶湯を直接製造するものである。歩留を含めた総合原料コストの外、廃棄物処理等の問題を含めて総合的に評価する必要がある、現状ではまだ一部にしか適用されていないが今後の動向が注目される。

3.1.2 鑄造技術

次に鑄造工程について述べると、連続鑄造化は炭素鋼に先駆けて適用され、スラブ用では新日本製鐵光製鐵所に最初の連続鑄造機が

電極抵抗加熱、誘導加熱等)、加工性及び偏析改善を目的とした鑄片凝固組織制御のための電磁攪拌技術(モールド下及び最近になって表面品質改善のためのモールド内電磁攪拌)、鑄片の表面品質改善及び極低炭素鋼のための浸炭防止のためのモールドパウダーの開発・改善、能率及び歩留改善のための連々鑄技術、鑄込中を含めた幅可変技術等種々の開発・改善が実践され、今日に至っている。

連続鑄造設備開発としては、当初の垂直型から曲げ型(S型)、湾曲型が開発され、また水平型連続鑄造機も開発され、主として線材、鋼管等の条用として量産に用いられている。最近の技術開発として従来の150~250mm厚さのスラブから25~50mm前後にスラブ厚さを薄くした薄スラブ鑄造機も開発され、欧米を中心にして実用に供されている。その中でとりわけ脚光を浴びているのがストリップキャストで、熱間圧延(以下、熱延と記す)を経ないで溶鋼から直接ホットコイルを製造する革新的技術である。原理的には現行の連続鑄造機の発想時点で既に検討されていたが、端面の溶鋼保持技

表2 ステンレス鋼の主な炉外精錬法

プロセス	主要効果			高純化レベル(18Cr鋼, ppm)			出典	
	能率	コスト	高純化	[C]	[N]	[C+N]		
VOD	SS-VOD		○	≤20	≤50	≤70	4)	
	VOD-PB		○	32	48	80	5)	
	VOD-H ₂ 吹込	○	○					
AOD	VCR	○	○	○	20	60~80	80~100	6)
AOD-VOD		○						
RH	RH-OB	○	○					
	KTB	○	○	○				

設置された。これは、ステンレス鋼が高価であり、連続鑄造化による歩留向上メリットが大きかったこと、ステンレス鋼の代表的鋼種であるSUS304の連続鑄造化が比較的容易であったことによる。現在では製品として極厚板が要求される厚板の一部と、高合金ステンレス鋼の一部を除いてほぼ連続鑄造化され、連続鑄造比率は99%程度になっているものと推定される。

連続鑄造技術は、1960年代に実機化された成熟した技術であるが介在物を除去し、再生成させないための無酸化鑄造技術、タンディッシュ内溶鋼温度を一定に保ち、介在物浮上促進を含めた品質改善のためのタンディッシュ内溶鋼加熱装置(プラズマ加熱、直接

術、制御技術等の問題が未開発のため約100年にわたって実用化には至らなかった。この間欧州、米国、日本を中心に開発が進められ、1996年に入って新日本製鐵光製鐵所及び住友金属工業(株)直江津製造所に実機を設置する計画が相次いで発表され、1997年から1998年にかけて量産化が開始される予定である。図5⁹⁾にその例を示すが、新日本製鐵の計画設備ではオーステナイト系ステンレス鋼について2.0~5.0mm厚×1330mm幅のコイルが製造される。製品品質は従来品と同等であるが急冷凝固による微細組織化により製品の研磨性等、用途によっては従来品に優る特性も期待される。当技術は省エネルギー、省力化、省工程による製造工期短縮等を狙ったニアネット

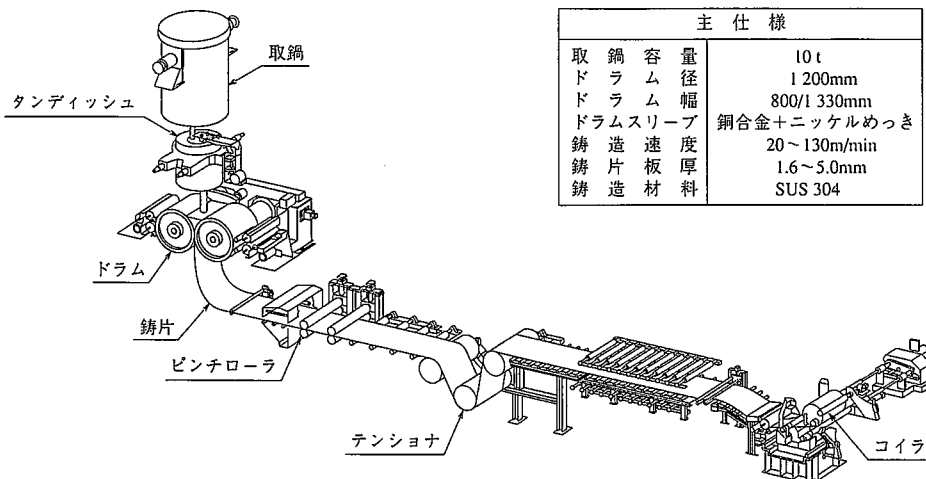


図5 双ドラム式ストリップキャストの概略図

シェイブ素材の鍛造技術として国内外で活発な開発が展開されており、今後フェライト系ステンレス鋼や、急冷凝固の特性發揮が期待される高合金鋼への適用技術開発が期待される。

3.2 熱延技術

ステンレス鋼の熱延は、製品の材質、表面品質、冷間圧延(以下、冷延と記す)性等左右する重要な工程である。熱延機には二つのタイプがあり、普通鋼との兼用メーカーではホットストリップミルが、ステンレス鋼専用メーカーでは主としてステッセルミルが使用されている。また、厚板圧延では主として4段ミルが、線材圧延では4段連続ミルが使用されているが最近では精密圧延が可能なブロックミルの採用が進んでいる。以下には鋼板の熱延を主体に述べる。

熱延における技術改善として、加熱～巻取までの一貫制御圧延技術による材質・表面品質の改善、ロール材質の改善や圧延潤滑剤の適用による表面品質の改善、AGC(Automatic Gauge Control)の採用による板厚精度の向上、6段圧延機ワークロールシフトやベアクロスミルによるクラウン・形状制御技術、コイルボックスによる品質改善、薄手・大質量コイルの製造等、様々な観点からの技術開発がなされており、省力・省工程化、品質の改善が図られている。今後の動きとして、上記ストリップキャスト化の動きの注視と、能率及び端末部の寸法・形状改善改善法として普通鋼分野で開始されているスラブ溶接による連続圧延法のステンレス鋼への適用が注目される。

厚板圧延では、上記技術の外にTMC P(Thermomechanical Control Process)による溶体化処理を省略した制御圧延技術、圧延制御による連続鍛造スラブからの厚手製品の製造技術等が、また線材圧延では高速圧延化のためのブロックミルの適用、3ロール圧延機及び仕上げブロックミル後のサイジングミルによる寸法精度±0.1mmを狙った精密製品の製造、制御圧延・冷却による焼鈍省略DST(Direct Solution Treatment)処理技術等が開発・適用されている。

3.3 冷延技術

ステンレス冷延鋼板は、従来ゼンジミアミルを使用していたいわゆるステンレス鋼工程で製造されてきたが、最近普通鋼工程を活用したタンデムプロセスが開発されている。前者を主体にして述べる。最初の工程であるホットコイルの焼鈍酸洗は、オーステナイト系ステ

ンレス鋼では従来から連続焼鈍が行われてきたが、SUS430ではバッチ式のボックス焼鈍が行われてきた。1982年、新日本製鐵ではアルミニウムを含有させ変態領域を高温側に移動させることにより連続焼鈍技術¹⁰⁾を開発し、実機生産を開始した。最近では熱延板焼鈍の機能を制御熱延により熱延工程に取込み、熱延板焼鈍を省略する技術¹¹⁾や、焼鈍酸洗ラインの後面にタンデム式冷延機を設置し焼鈍・酸洗・冷延を直結化する技術が実用化¹²⁾されている。






次にステンレス鋼の冷延では、普通鋼と比較して変形抵抗が高いことから表3¹³⁾に示すワークロール径の小さいクラスターミルが用いられている。

一方これらのステンレス鋼用の冷延機とは別に、大径ロールを使用する普通鋼用タンデムミルプロセスも実用化されている。この方式は生産性が高く、自動車排気系用を主体に耐熱鋼やステンレス鋼に適用されている。

冷延においては高精度自動板厚制御技術や自動形状制御技術及び各種の制御技術が適用されており、板厚精度・形状等の品質向上に加え、800m/minを超える高速圧延の実現等、著しい進展を遂げている(図6参照¹⁴⁾)。また、冷延機の進歩と共に高速圧延及び表面光沢向上のためのトライボロジー研究も展開されている。今後これらの成果を織り込んで、一層の高効率化、高品質化、更にはタンデムプロセスの適用拡大が進むものと思われる。

冷延板の焼鈍酸洗については高速化・高効率化、品質保証技術の進展が見られる。最近の代表的な冷延板焼鈍酸洗設備の例を図7¹⁵⁾に示す。本設備はライン速度が100m/minの高速設備で、酸洗前処理としての熔融塩処理に替えて中性塩電解法とアルカリ電解を組み合わせた新技術を採用し、焼鈍炉は予熱帯を長くとり排ガスによる予熱効率を高めた省エネルギー設備となっている。品質管理・保証機器として板厚・幅の測定、表面疵検出器の設置、表面光沢や粗度・結晶粒度等の測定もインライン化されつつある。この外、ライン後面へのスキンプラスミルやテンションレベラー、サイドトリマーのインライン化による精整工程省略技術や直火バーナーによる急速加熱技術、更には浮遊通板技術等を採用したラインも設置されている。また、環境対策としてイオン交換膜拡散透析法や電解分離法により硝・ふっ酸の廃酸回収が行われており、更にNO_x対策として新酸洗

表 3 最近のステンレス鋼冷間圧延設備のタイプと特徴

型 式	Zミル	KSTミル	KTミル	UCミル	CRミル	
メーカー	ゼンジミア(日立)	神戸製鋼所	神戸製鋼所	日立製作所	三菱重工業	
ロール配列						
略 号	ZENDZIMIR MILL	KOBELCO SANDVIK TWENTY-HIGH MILL	KOBELCO TWELVE-HIGH MILL	UNIVERSAL CROWN CONTROL MILL	CLUSTER TYPE ROLLING MILL	
特 徴	形状制御機能	○分割BURクラウンベンダ ○第一中間ロールラテラルシフト	○分割BURクラウンベンダ ○中間ロールラテラルシフト	○中間ロールシフト ○中間ロールベンダ ○ワークロールベンダ	○分割BURクラウン調整 ○中間ロールベンダ ○ワークロールベンダ	
	板厚制御機能	油圧駆動圧下偏心機構	○ウェッジ式油圧圧下 ○電動片圧下圧延	○ウェッジ式油圧圧下 ○電動片圧下圧延	○油圧圧下シリンダ ○油圧片圧下圧延	
	ハウジング構造	○一体ハウジング	○4柱式分離ハウジング	○4柱式分離ハウジング	○分離ハウジング	○分離ハウジング
	ワークロール	○小径化 ○極端に小径化可能	○極端に小径化可能	○小径化可能	—	○小径化可能
ロール駆動	無	無	無	無	無	
ロール駆動	上下第1中間ロール	上下第1中間ロール	上下中間ロール	上下中間ロール	上下中間ロール	

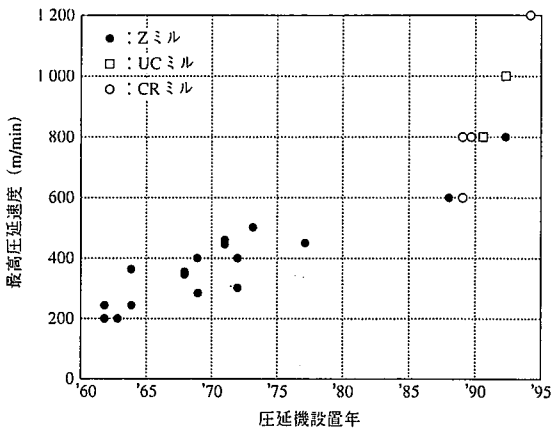


図6 リバース式ステンレス鋼冷間圧延機の高速度化推移

表4 ステンレス鋼JIS鋼種の主な変化

JIS改定年		1972	1981	1991
区分	マルテンサイト系	12	14	16
	フェライト系	5	11	12
	オーステナイト系	23	39	49
	二相系	1	1	3
	析出硬化系	3	3	3
合計		44	68	83
増加鋼種の主な特徴別分類	高耐食性鋼	—	9	18
	高加工性鋼	—	4	7
	高強度、高硬度鋼	—	9	11
	切削性ほか	—	2	3

注) 鋼種の特徴はJISによる。

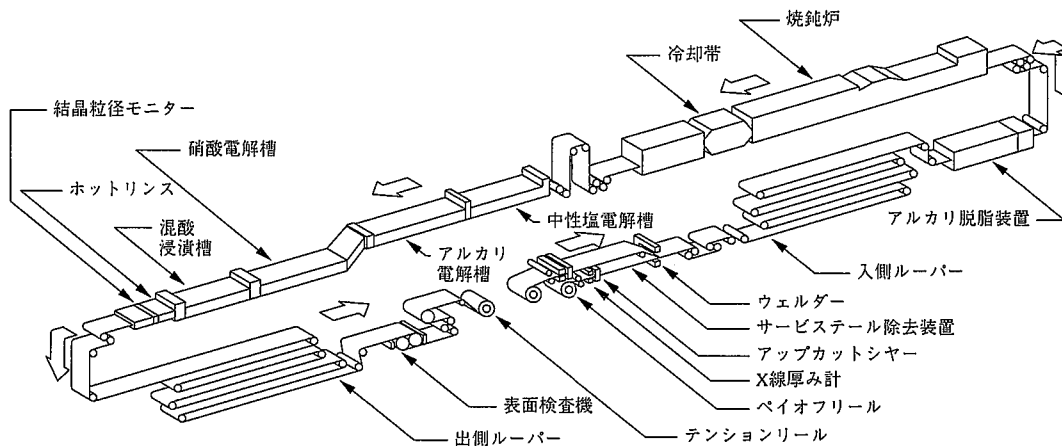


図7 最近のCAPラインの構成

液の検討も活発に行われている。

光輝焼鈍においても焼鈍酸洗と同様な技術開発が行われており、更に脱脂洗浄へのアルカリ電解法の適用、大型設備でのマッフル炉の採用等が取り込まれている。

精整工程では、スキンパスミルについて上記のように焼鈍酸洗インライン化や6段圧延機の採用による形状改善や生産性向上も図られており、またコイル自動搬送設備の導入や製品梱包の自動化等が進展している。

4. ステンレス鋼の高機能化

ステンレス鋼に要求される機能拡大と、それに対する新技術・新鋼種拡大の一つの指標として、JIS(規格)鋼種の最近の変化を表4に、また各社独自鋼種の数を特性別に表5に示す。JIS鋼種数はこの約20年間で大きく増加しており、中でもとりわけ高耐食性・高強度鋼種の追加が多いこと、各社の鋼種も耐食性材料が多いことが分かる。

4.1 高耐食性ステンレス鋼

ステンレス鋼が最初に開発・実用化されたのは周知のように13Cr系のマルテンサイト系ステンレス鋼であった。その後、オーステナイト系ステンレス鋼、フェライト系ステンレス鋼、二相系ステンレス鋼と各種のステンレス鋼が開発・実用化されてきたが、前記の各種精錬技術・熱延技術の進歩により、極最近になって各社が競って

表5 各社の独自鋼種数

	新日鉄	日新製鋼	川崎製鉄	住友金属	日金工	日本冶金
耐食性	7	2	3	9	7	16
加工性	1	6	5	5	5	6
切削性	0	0	0	4	3	0
高強度	6	8	3	6	8	5
耐熱性	2	6	1	6	3	4
その他	0	2	0	0	0	0
オーステナイト系	16	24	12	30	26	31
耐食性	9	9	19	11	9	7
加工性	2	3	4	0	2	1
耐熱性	7	8	9	10	5	1
溶接性	2	3	3	0	1	4
フェライト系	20	23	35	21	17	13
マルテンサイト系	2	4	3	0	2	0
二相系	1	2	1	11	4	3

注) 亜鋼種も一つとしてカウントした。

高耐食性鋼種を開発・商品化している。

これには大きく二つに分類され、一つがスーパーステンレス鋼と称されるものである。その代表的なものが新日本製鐵のYUS270(20Cr-18Ni-6Mo-N)で、チタンに匹敵する耐食性を有している。これは高Cr、Moの外、Nが耐食性を向上させる元素として効果的に活

用されており、耐食性の外に高強度鋼としても適用でき、またオーステナイト系ステンレス鋼ではあるがフェライト系ステンレス鋼との中間的熱膨張率を有している。海水淡水化装置や各社化学プラント類の外、最近になって臨海地区、特に沖縄のような塩害地区においても裸のままステンレス鋼の意匠性を発揮できる材料として屋根・壁等の建材用にも適用されだしている。フェライト系ステンレス鋼ではSUS447J1(30Cr-2Mo)鋼もほぼこの範ちゅうに入れられる材料である。

もう一つが高純フェライト系ステンレス鋼と称されるものである。Cr, Moを添加し、先の精錬法を駆使してC,Nといった侵入型元素を極限まで減少させて耐食性・加工性を改善し、更に熱間加工工程で制御圧延を行うことにより、工業生産・商品化が可能となった。代表的なものが新日本製鐵のYUS220M(22Cr-1.5Mo-Ti-Nb)鋼, YUS190, YUS190L(19Cr-2Mo)鋼で、以下Cr, Mo量で各鋼種が各社でシリーズ化されている。新日本製鐵における各種フェライト系ステンレス鋼を孔食指数(PI)との関係で図8に示す。この外、高耐食性ステンレス鋼として最近開発されたものにYUS260(20Cr-15Ni-3Mo-Cu-N), YUS110M(18Cr-12Ni-2Si-Mo-Cu), YUS27A-M(17Cr-7Ni-2Cu-2Si)等がある。

耐食性改善には、Cr, Mo等の添加、C等の減少の外、Ti, Nbの複合添加により介在物が腐食の起点になり難い難溶性にし、かつ不動態皮膜中にTiが酸化物として濃化して耐食性を向上することが分かっており、新日本製鐵では古くからこの技術を用いてきた(例えばYUS190, YUS220M)。最近になって他社でもこの方面の研究がなされており、Ti, Nb, Alの共同添加により耐食性が改善するとの¹⁶⁾報

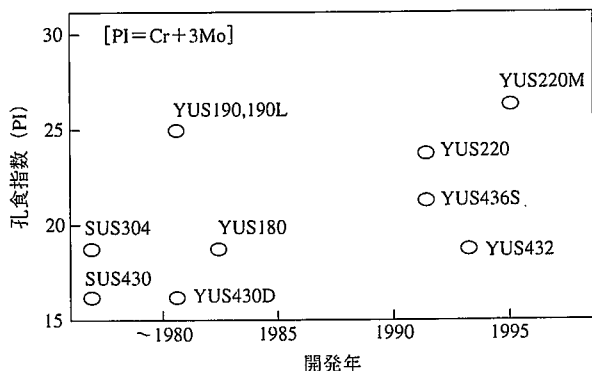


図8 新日本製鐵の主要な高純フェライト系ステンレス鋼

告がある。また、オーステナイト系ステンレス鋼におけるNが耐食性改善元素であることが分かったように、従来有害元素であるとみなされてきたSが低Crステンレス鋼において耐粒界腐食性を改善するとの知見¹⁷⁾も新たに得られており、今後介在物制御と表面保護皮膜面からの耐食性改善研究は一層進展するものと思われる。

4.2 高加工性ステンレス鋼

ステンレス鋼はよく、加工しにくいといわれる。これは軟鋼に対してフェライト系ステンレス鋼では延性が劣ること、オーステナイト系ステンレス鋼では強度が高いこと、更には溶接等の熱が関係する加工では熱膨張率が高いこと、が影響しているものと思われる。この中で、フェライト系ステンレス鋼について述べると、4.1節でも述べたように低C,N化により加工性、特に絞り加工性は大幅に向上してきた。最近の高純フェライト系ステンレス鋼の加工性指標を

9に示す。従来SUS430で \bar{r} 値が1.0前後であったものが1.6前後に、また伸びも30%を超えるものが安定して得られるまでに改善されており、特にタンデムプロセス材では大径ロール圧延の効果もあって大幅な \bar{r} 値向上が得られている。この結果、絞り条件さえ適正であれば従来SUS304でも加工困難であった超深絞り加工もこれらフェライト系ステンレス鋼で実現できるまでになっている。超高純度Fe-Cr合金ではこれらの性質が更に改善され、18%Cr鋼で36%を超える伸びが達成されるとの報告¹⁸⁾もある。

一方、ステンレス鋼線材関係では、使用量の増大に伴い生産性向上、低コスト化の要求が高まり加工方法が切削から鍛造に移行する傾向にある¹⁹⁾。厳格な冷間鍛造条件に対応するため、冷間鍛造用鋼種であるSUSXM7を更に改善させた材料が普及している。また、切削用材料においてもSの外にPb, Se等を添加した快削鋼、限界圧縮率改善鋼も開発されている。

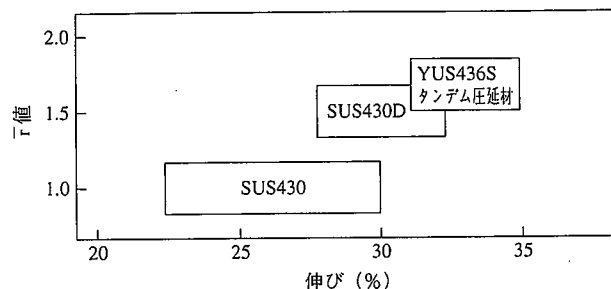


図9 高純フェライト系ステンレス鋼の加工性

ステンレス鋼の加工性を補った材料として、最近脚光を浴びているものにステンレス潤滑鋼板がある。これはステンレス鋼の表面に潤滑剤を含む各種の有機皮膜を施したもので、加工時に潤滑油や保護皮膜を使用しないで加工できるため、作業環境改善・省コスト材料として今後の適用拡大が期待される。新日本製鐵では東海鋼業(株)と共同で“ガードコート”を開発・商品化し、ステンレス鋼にも適用している。

4.3 意匠性ステンレス鋼

高耐食鋼であるステンレス鋼は、一般には焼鈍・酸洗を施した2B仕上げ、雰囲気焼鈍を行い圧延状態の高光沢を保持したBA仕上げが主流を占めているが、表面に各種研磨(No.3, No.4, No.7, 鏡面研磨等)、エンボス加工、ダル加工、エッチング加工、各種着色加工(塗装、インコカラー等の化学発色、イオンプレーティング、他のドライコーティング等)を施して厨房、浴槽、建材内外装等に幅広く使用されてきた。

最近では、ニーズの多様化と差別化により塗装材でも表面に絵柄を印刷したエリオ鋼板や、トンネル内の環境改善(美化)用に高硬度・高耐食塗装を施したトンネル内装板、更には塗料中に抗菌剤を分散させて細菌・かびに対する抵抗性を持たせた抗菌塗装鋼板のような機能性を兼ねた特殊塗装鋼板や、塗装とは異なった金属素材の色調を強調した各種めっきステンレス鋼板(アルミニウムめっき、亜鉛めっき等)も使用されだしている。

アルミニウムめっきにはこの外に犠牲防食効果に加えて鋼中のCrがAlめっき層に拡散し、一層耐食性を上げる効果があり、全体としての耐食性アップにも寄与している。ペンキ塗装時の前処理としての研磨目が意匠性研磨として認識され、バイブレーション研磨として商品化されたように、今後アイデアと技術・コストが伴えば、

この世界ではめっきを含めて新たな意匠性商品が開発される可能性がある。

4.4 その他の機能性ステンレス鋼

ステンレス鋼は要求される性質・用途が多様多岐にわたるだけに、その種類は限りなく広く多い。技術進歩の成果と考えられるものを以下にいくつか列記する。

4.4.1 高強度・高硬度ステンレス鋼

自動車ガasket、プレスプレートのような高強度・高硬度が要求される分野で鉄道車両用に開発されたSUS301Lをモディファイした材料が適用されており、また土木建設分野ではコンクリート打ち抜き用としてYUS550(13Cr-2Ni-2Mo)のようなマルテンサイト系ステンレス鋼で耐食性を改善した鋼種が開発・実用化されている。また、高速増殖炉用としてSUS316をベースに窒素を適正量添加した316FR(16Cr-12Ni-2Mo-0.09N)が開発されており、今後高温強度・クリープ強度が要求される他用途への展開が期待される。

フェライト系ステンレス鋼ではNbを活用した高温強度鋼の開発が進んでおり、自動車排ガス用材料としてエキゾーストマニホールド等に適用されている。YUS180H(19Cr-0.8Nb)、YUS450-MS(14Cr-0.5Mo-0.3Nb-Ti)がその例である。

4.4.2 非磁性ステンレス鋼

オーステナイト系ステンレス鋼は溶体化処理ままでは通常非磁性状態であるが、オーステナイトの安定度により冷間加工を施すとマルテンサイト変態が生じて磁性を生ずるようになる。冷間加工性を要求される用途にはMnを活用して加工状態で低透磁率(例えば0.01以下)を維持するYUS130S(18Cr-6Ni-10Mn-0.3N)が開発されている。また、フェライト系ステンレス鋼ではAlを活用した軟磁性ステンレス鋼の開発も盛んに行われている。

4.4.3 耐熱・耐酸化性ステンレス鋼

高Crを含有するステンレス鋼は耐熱・耐酸化機能を有しており、燃焼装置等こういった特性が要求される用途に適用されてきた。こ

れにAl、Si等を添加すると一層耐熱・耐酸化性が改善され、YUS701(25Cr-13Ni-2Si-Mo-N)、YUS731(19Cr-13Ni-3Si-0.7Cu)が開発されている。こういったオーステナイト系ステンレス鋼では用途によっては高温での熱膨張による問題があり、この点で優れているフェライト系ステンレス鋼に対しても新日本製鐵ではHOM125(15Cr-4Al)、YUS405Si(12Cr-2Si-Al)を開発し量産してきた。これに対し、自動車メタル担体用として950℃前後の耐熱・耐酸化性が要求され、一層Cr、Al量をアップし、更に希土類元素を添加したYUS205-M₁(20Cr-5Al-REM)を開発し、この用途に適用されている。

耐熱用としてはこの外に、ステンレス鋼表面に耐熱樹脂を塗装した耐熱塗装鋼板があり、260℃程度までの材料がテーブルコンロ等に実用化されている。電子レンジ内箱材等では更に550~600℃程度のPCM材料が要求されており、加工性改善を含めた材料開発が課題である。

4.4.4 複合鋼板

ステンレス鋼と他材料との機能を複合させた材料として従来から各種クラッド鋼板が使用されてきた。ステンレス鋼を適用した複合鋼板としては他にステンレス制振鋼板や、表面に各種樹脂を接合したラミネート鋼板があり、また、複合機能を有するものとしてはんだ性等の改善を目的とした各種めっきステンレス鋼(ニッケルめっき、銅めっき、はんだめっき等)がある。

これら機能を生かして、最近他材料からステンレス鋼へ転換された主要事例を表6に示す。

5. 結 言

ステンレス鋼の製造技術と主要機能材について概括した。地球環境改善、高齢化社会対応が叫ばれる中で、長寿命が期待でき、かつリサイクル可能なステンレス鋼は、塗装やめっきが必要な普通鋼代替用途としてばかりでなく、将来の各種クリーンエネルギー製造設備や、300年橋梁構想材等として幅広く検討が推進されており、L

表 6 最近のステンレス鋼への転換事例

適用分野	用途・部品名	材 料			ステンレス鋼化の目的	時 期						
		変更前	変更後	原単位 (kg/台)		~89	90	91	92	93	94	
自動車	○マフラ	アルミめっき鋼板	S436L系	8	寿命延長		⇒					
	○エキゾーストマニホールド	鋳物	YUS432 S430JIL YUS450-MS	4	寿命延長, 軽量化	⇒					⇒	
	○触媒コンバータ	セラミックス	YUS205-M ₁	1	軽量化, 効率向上			⇒				
	○メタルガasket(一枚構造)	アスベスト	S301系	0.4	環境対策			⇒				
電 機	○洗濯機バスケット	樹脂	S430LX	3~6	脱水効率				⇒			
	○衣類乾燥	亜鉛めっき	S430LXほか	4	商品差別化							⇒
	○IH炊飯ジャー	アルミほか	SUS-A ₁ クラッド	2	炊飯効率向上		⇒					
建 材	○屋根材	塗装鋼板	YUS220Mほか YUS270	3~10	耐食性改善	⇒						
	○構造材	炭素鋼	S304		耐食性改善, 意匠性			⇒				
	○トンネル内装板	アスベスト, タイル	22Cr+塗装	6kg/m ²	環境対策			⇒				
土 木	○ダム, せき	炭素鋼	S304	2 000 t/ダム	メンテナンスフリー(塗装省略)							⇒
	○コンクリートカラー材	炭素鋼+塗装	S304N1, S316		寿命延長		⇒					
	○水管橋	炭素鋼+塗装	S316, S329J4L		メンテナンスフリー				⇒			
	○PC鉄筋	炭素鋼	S304		寿命延長		⇒					
産業機 器ほか	○煙突内装材	耐火物	YUS260		メンテナンスフリー	⇒						
	○各種ケーブル保護管	炭素鋼+塗装	S304		寿命延長	⇒						

CA (Life Cycle Assessment) 問題とも合わせ今後一層の適用拡大が期待される。これを現実のものにするべく、我々素材メーカーは需要家と一体になって一層廉価でかつ高機能、安定した品質のステンレス鋼を開発していかねばならない。

参考文献

- 1) INCO : World Stainless Steel Statistics.
- 2) 通産受注統計
- 3) ステンレス協会 : ステンレス鋼板用途別受注統計
- 4) 岩岡昭二 ほか : 鉄と鋼.63(5),A1(1977)
- 5) 田尻裕造 ほか : 材料とプロセス.8(4),1138(1995)
- 6) 稲垣佳夫 ほか : 材料とプロセス.7(4),1068(1994)
- 7) 竹内秀次 : 材料とプロセス.9(8),199(1996)
- 8) 鈴木泰宏 : 材料とプロセス.8(6),1137(1995)
- 9) 柳健一 ほか : 三菱重工技報.32(3),207(1995)
- 10) 沢谷精 ほか : 製鉄研究.(310),335(1982)
- 11) 上田全紀 : 西山記念技術講座. 151,152回(1994),27
- 12) 兼安信太郎 ほか : 材料とプロセス. 7(4),1439(1994)
- 13) 中野恒夫 : 第140 回塑性加工シンポジウム. (1992),37
- 14) 松元俊彦 : ステンレス. 8(2),15(1996)
- 15) 中乗敬之 ほか : 日新製鋼技報. 67(3),99(1993)
- 16) 宇都宮武志 ほか : 材料とプロセス. 9(8),432(1996)
- 17) 山岸昭仁 ほか : 材料とプロセス. 9(8),430(1996)
- 18) 藤沢光幸 ほか : 日本鉄鋼協会特基研究会高純度Fe-Cr合金研究部会報告書, 高純度Fe-Cr合金の諸性質.(1995),56
- 19) 今西周彦 : ステンレス. 8(4),8(1996)