高加工性フェライト系ステンレス鋼 「YUSPDX」の開発

木村 謙¹⁾ 高橋明彦²⁾ 濱田純一³⁾
諸星 隆²⁾ 橋本 聡⁴⁾

1. 緒 言

ステンレス鋼は、優れた意匠性や耐食性を有することから、家電、建材、厨房用等の広い分野で使用されている。ステンレス鋼の中で最も使用量の多い鋼種は、オーステナイト系ステンレス鋼の SUS304 (18Cr-8Ni) であり、全需要の過半数を占める。しかし、近年ではフェライト系ステンレス鋼の需要が増加してきている。

フェライト系ステンレス鋼を SUS304 と比較したときの利点は、Ni を含有しないため安価であること、熱膨張率が低いこと、応力腐食割れ感受性が低いこと等が挙げられる。一方、欠点は加工性が低いことにあり、このことが原因で加工用途としては主に SUS304 が用いられている。両鋼種の加工性を比較すると、SUS304 は製品伸びで約50%と高い値を示すのに対し、フェライト系ステンレス鋼の代表鋼種である SUS430 (17Cr) は約30%である。フェライト系では集合組織を制御することにより深絞り性 (r 値) を向上させることができるが、SUS430 系の r 値は最高でも1.5超程度であり、加工用途として十分とは言えない。

またフェライト系ステンレス鋼では、成形加工後に「リジリング」と呼ばれる表面凹凸が生じることがある。リジリングが発生すると、美観を損ねるだけでなく、加工後の表面研磨工程の負荷が増大する。したがって加工用途に用いるフェライト系ステンレス鋼は、加工性のみならず耐リジリング性をも確

保する必要がある。

本開発鋼「YUSPDX」は、17%Cr 鋼ベースのフェライト系ステンレス鋼で最高レベルの加工性と耐リジリング性を両立した新鋼種である。

2. 開 発 目 標

開発に当たり、目標を次のように設定した。

加工性：製品伸びは SUS430 と SUS304 の中間レベルとした。深絞り性については、従来鋼の最高レベルである r 値 ≥ 2.0 とした。

耐リジリング性：成形加工後にリジリングが発生しないこととした。

耐食性：SUS430以上とした。

3. 開 発 思 想

フェライト系ステンレス鋼において、 r 値を向上させるためには C, N を析出物として固定することが有効である⁽¹⁾。固定元素としては Ti, Nb, Zr 等があるが、 r 値向上効果が大きく、強度増加の小さい Ti を選定した。C, N 量は低いほど r 値は向上するため、高純化精錬により C, N を極力低減することとした。

鋼中に含まれる不純物元素は延性を劣化させることが知られているが、フェライト系ステンレス鋼において各元素の延性低下代については、これまで十分な知見が無かった。そこで、フェライト系ステンレス鋼の製品伸びに及ぼす種々の元素の影響を調査した。図1に極低 C, N-17Cr 鋼の製品伸びに及ぼす Si, Ti, P の影響を示す。横軸の[]は mass% であり、各元素の係数は統計的処理により算出した。図のように各元素による延性低下代を定量化した。この結果を成分設計に反映させ、精錬工程で不純物元素を徹底的に低減し、Ti 添加量を必要最小限に抑えた。

* 新日本製鐵株式会社

1) 技術開発本部鋼材第一研究部主任研究員

2) 技術開発本部八幡技術研究部主任研究員

3) 技術開発本部光技術研究部主任研究員

4) ステンレス事業部光製鐵所生産管理部マネジャー

Development of Excellent Formability Ferritic Stainless Steel "YUSPDX": Ken Kimura, Akihiko Takahashi, Junichi Hamada, Takashi Morohoshi, Satoshi Hashimoto (Nippon Steel Corporation)

2001年11月15日受理

図1 極低C, N-17Cr鋼の製品伸びに及ぼすSi, P, Ti量の影響。

一般的にフェライト系ステンレス鋼を高純化した場合、耐リジング性は劣化する。この原因は、高純化により凝固組織が粗大化し、リジングの成因⁽²⁾⁽³⁾である{100}<011>方位粒の集まり(以下、コロニーと呼ぶ)が熱間圧延過程で生成するためである。コロニーの分断には再結晶が有効であることが知られているが、著者らの調査結果では、{100}コロニーを完全に分断するためには1回の再結晶では不十分であり、製造途中段階で2回以上の再結晶を繰り返すことが必要であることが明らかとなった。

再結晶を繰り返し行う方法として、冷間圧延-焼鈍を複数回行うことが考えられるが、これは製造コストの大幅な増加につながる。そこで以下の組織制御により、効率的に再結晶組織を得た。

凝固組織の制御：高純フェライト系ステンレス鋼の再結晶核は主に結晶粒界であり⁽⁴⁾、結晶粒径が再結晶速度に大きく影響することが判明している⁽⁵⁾。そこで熱間圧延前の結晶粒径を微細にする方法を検討し、精錬- casting 工程で介在物を利用した組織制御により、高純フェライト系ステンレス鋼で凝固組織を微細にする技術を確認した。この凝固組織制御に加え、熱間粗圧延条件を最適化することにより、熱延途中段階で完全に再結晶組織を得ることができた(図2)。

熱間圧延後の再結晶：再結晶と析出が競合した場合、再結晶が大幅に遅延する。本鋼種で熱間圧延以降に再結晶を促進させるためには、Ti系の介在物($Ti_4C_2S_2$, TiC および FeTiP)の析出を制御する必要がある。 $Ti_4C_2S_2$ については約1500 K以下で析出するため、熱間圧延前加熱温度を低温にして予め粗大に析出させることで熱間圧延後の析出を抑制した。TiC および FeTiP については、それぞれ極低C化および極低P化による析出抑制⁽⁶⁾と熱間仕上げ圧延以降の熱履歴制御により、再結晶への影響を無害化した。以上の析出物制御により、熱間圧延後の再結晶を促進させた。

このように精錬- casting -熱間圧延-冷間圧延・焼鈍の一貫工程での組織制御により、製造工程を増やすことなくコロニーを分断させ、リジングの発生を抑制する技術を確認した。

以上のように、高純化精錬と一貫組織制御の両技術により、高加工性と耐リジング性を両立することに成功し、高加

図2 YUSPDXの(a)組織制御材および(b)比較材の熱間圧延途中の組織(太線は未再結晶粒界)。

表1 YUSPDXの化学成分(mass%, 代表例)。

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	N
0.003	0.06	0.12	0.014	0.002	16.47	0.16	0.009

工性ステンレス鋼「YUSPDX」を開発した。

4. 開発鋼の成分と各種特性

YUSPDXの成分代表例を表1に示す。SUS430に比べてC, N, Si, Mn, Pを低減しており、C, Nを固定するのに十分なTiを添加している。機械的特性を比較鋼(SUS430LXおよびSUS430)の結果と併せて表2に示す。YUSPDXの製品伸びは38%であり、SUS430とSUS304の中間レベルに位置し、比較鋼に比べて5%以上高い。 r 値は2.0と比較鋼に比べて0.3以上も高い。次に実験室の小型プレス試験機で成形加工性を調査した。各鋼種の成形限界絞り比をTZP試験により測定した結果を図3に示す。図中にはSUS304のレベルを併せて示した。YUSPDXの成形限界絞り比はいずれの鋼種に比べても0.15以上も高い。このようにYUSPDXは、比較鋼に比べて極めて高い加工性を有することが確認された。

YUSPDXおよびSUS430を成形限界絞り比で円筒深絞り成形したサンプルの外観を図4に示す。SUS430では壁部にリジングが発生しているのに対し、YUSPDXでは認められない。

YUSPDXおよびSUS430の耐食性を調査するため、複合サイクル腐食を行った。試験は「35℃人口海水噴霧4h→60℃乾燥2h→湿度95%雰囲気2h」を1サイクルとし、21サイクル実施した。SUS430は激しい発錆が認められるのに対し、YUSPDXではほとんど発錆が無く、YUSPDXはSUS430以上の耐食性を示すことが確認された。

表2 YUSPDX の機械的特性.

鋼 種	0.2%耐力(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	硬さ Hv	r 値	エリクセン値
YUSPDX	237	370	38	130	2.0	10.4
比較鋼(SUU430LX)	270	416	33	133	1.7	9.7
比較鋼(SUS430)	319	486	28	151	1.1	9.3

(2B, 板厚: 1.0 mm)

図3 YUSPDX, SUS430LX および SUS430の成形限界絞り比.

図5 YUSPDX を用いた燃焼機器部品の加工例.

(a) (b)

図4 (a) YUSPDX および(b) SUS430の円筒深絞りサンプル.

5. 実用化状況および今後の展望

YUSPDX は、従来のフェライト系ステンレス鋼では加工が困難な部材に適用され始めている。図5には燃焼機器部品

の加工例を示す。数段のプレスにより成形加工されているが、割れは無く、リジングも認められない。

フェライト系ステンレス鋼は、SUS304 に比べて加工性が劣ることから用途が限定されていた。しかし、加工性(伸び, r 値)が極めて高いフェライト系ステンレス鋼「YUSPDX」を開発することにより、これまでSUS304 が主に用いられてきた加工用途へのフェライト系ステンレス鋼の適用が広がると考える。

文 献

- (1) 例えばステンレス鋼便覧第3版, (1995).
- (2) H. Chao: Trans. ASM Quat., **60**(1967), 37.
- (3) R. N. Wright: Metall. Trans., **3**-1(1972), 83.
- (4) N. Tsuji, K. Tsuzaki and T. Maki: ISIJ Int., **33**(1993), 783.
- (5) 木村 謙, 瀬沼武秀, 山本章夫, 阿部雅之, 竹下哲郎: CAMP-ISIJ, **10**(1997), 1204.
- (6) 木村 謙, 天藤雅之, 山本章夫, 阿部雅之, 瀬沼武秀: CAMP-ISIJ, **11**(1998), 1144.