
フェライト系ステンレス鋼の耐酸化性に及ぼすC, Cr, Si, Ti, Al含有量の影響
Effects of C, Cr, Si, Ti and Al Contents on Oxidation Resistance of Ferritic Stainless Steels

川崎 龍夫(Tatsuo Kawasaki) 佐藤 信二(Shinji Sato) 小野 寛(Yutaka Ono) 大橋 延夫(Nobuo Ohashi)

要旨：

自動車排気浄化装置の触媒コンバーターなど 900℃前後の温度でくり返し加熱をうける用途に適するフェライト系ステンレス鋼を得る目的で、実用鋼の耐酸化性を調べるとともにこれらにおける主要成分（C, Cr, Si, Ti, Al）の影響を調べた。この温度域で耐酸化性に優れ、しかも成形性や溶接性にも優れている市販材料として極低C, Ti 添加 17%Cr 鋼（RIVER LITE 430LT）が挙げられる。また AISI type 409 を極低Cとし、かつ Si を 1.5% にまで高めたものが本用途、とくに耐酸化性、成形性において最適であることを見出し、新鋼種 LIVER LITE 409SR を開発した。

Synopsis：

Oxidation resistance of ferritic stainless steels for use in automobile exhaust gas clean-up systems has been studied using the cyclic heating in the air at 900℃-950℃. Effects of major elements, C, Cr, Si, Ti and Al on oxidation resistance have also been examined. Results are as follows: (1) Carbon is detrimental to oxidation resistance and should be reduced to a level below 100ppm. (2) Chromium increases oxidation resistance. More than 14%Cr is necessary for plain ferritic stainless steel for use at about 900℃. (3) Silicon increases oxidation resistance remarkably, but is detrimental to formability of sheets. For extra low C-11%Cr steel, Si content of 1.5-2% is suitable for use at 950℃. (4) Small addition of Ti is detrimental to oxidation resistance. Ti addition is, however, preferable to increase formability as well as weldability of sheets. (5) Small addition of Al is also detrimental to oxidation resistance. Among commercial steels, extra low C, Ti bearing 17%Cr steel (RIVER LITE 430LT) shows good oxidation resistance at temperatures below 950℃, coupled with good formability and weldability. Besides, extra low C-11%Cr-0.2%Ti steel containing 1.5-2%Si (RIVER LITE 409SR) has been developed and ascertained to have superior properties for application to catalytic converter core used at temperatures below 950℃.

本文は次のページから閲覧できます。

フェライト系ステンレス鋼の耐酸化性に及ぼす C, Cr, Si, Ti, Al 含有量の影響

Effects of C, Cr, Si, Ti and Al Contents on
Oxidation Resistance of Ferritic Stainless Steels

川崎 龍夫*

Tatsuo Kawasaki

佐藤 信二**

Shinji Sato

小野 寛**

Yutaka Ono

大橋 延夫***

Nobuo Ohashi

Synopsis:

Oxidation resistance of ferritic stainless steels for use in automobile exhaust gas clean-up systems has been studied using the cyclic heating in the air at 900°~950°C.

Effects of major elements, C, Cr, Si, Ti and Al on oxidation resistance have also been examined. Results are as follows:

- (1) Carbon is detrimental to oxidation resistance and should be reduced to a level below 100 ppm.
- (2) Chromium increases oxidation resistance. More than 14%Cr is necessary for plain ferritic stainless steel for use at about 900°C.
- (3) Silicon increases oxidation resistance remarkably, but is detrimental to formability of sheets. For extra low C-11%Cr steel, Si content of 1.5~2% is suitable for use at 950°C.
- (4) Small addition of Ti is detrimental to oxidation resistance. Ti addition is, however, preferable to increase formability as well as weldability of sheets.
- (5) Small addition of Al is also detrimental to oxidation resistance.

Among commercial steels, extra low C, Ti bearing 17%Cr steel (RIVER LITE 430LT) shows good oxidation resistance at temperatures below 950°C, coupled with good formability and weldability.

Besides, extra low C-11%Cr-0.2%Ti steel containing 1.5~2%Si (RIVER LITE 409SR) has been developed and ascertained to have superior properties for application to catalytic converter core used at temperatures below 950°C.

1. まえがき

自動車向けのステンレス鋼は、これまでおもに外装用の部品に用いられてきたため、耐錆性や表

面光沢に重点がおかれていた。しかし排ガス浄化装置のような高温用部品にまで用途が広がったため、成形性や溶接性とともな耐酸化性も材料選定のための重要な特性となってきた。

マスクー法に端を発した国内の自動車排ガス規

• 技術研究所特殊鋼研究室
*** 技術研究所特殊鋼研究室室長・工博

** 技術研究所特殊鋼研究室主任研究員

制は、昭和50年、51年規制を経て53年規制へと強化されるう勢にある。この世界一厳しい規制に対処するために、エンジン自身を改良するだけでなく、それに加えてサーマルリアクターや排ガス再循環装置(EGR)、さらに触媒コンバーターなどを組合せる方策がとられている¹⁾。これらの付属装置は高温で排ガスを酸化あるいは還元させるもので、しかもくり返しの加熱・冷却をうけるから、使用される材料はこのような苛酷な条件に耐え得ると同時に装置製作上必要な良好な成形性、溶接性をも備えていなければならない。現状では、内部温度が1000℃以上のサーマルリアクターにはSUS 310SあるいはSUS XM15 J1(昭和51年度JIS改定案追加予定)などの高Cr-高Niオーステナイト系ステンレス鋼、また触媒コンバーターのうち最高温度が900℃程度とみられるペレットタイプのものにはSUS 304、これより温度上昇の少ないハニカムタイプのものにはAISI type 409や低CのSUS 410などが使用されている。たしかに1000℃以上では高温強度の点でオーステナイト系耐熱ステンレス鋼にたよらざるを得ない。しかし、より低温の場合にはNiを含む高価なSUS 304を用いなくても、フェライト系ステンレス鋼を改良することにより使用することが可能と考えられる。また、省資源的見地からも耐酸化性の優れたフェライト系材料を開発する必要がある。

そこでまず既存の各種ステンレス鋼について耐酸化性を調べるとともに主要成分(C, Cr, Si, Ti, Al)の効果を調査し、その結果に基づいてフェライト系ステンレス鋼の改良を行った。

2. 既存鋼の耐酸化性

Fig. 1 内に代表的なフェライト系ステンレス商用鋼の組成を示す。これらはすべて商用工程で製造された1.2 mm厚の2D仕上げのものである。15mm×50mmの短冊状試験片を用いて、前報²⁾と同様の方法で測定した大気中でのくり返し加熱による酸化曲線をFig. 1に示す。比較のためにSUS 304の結果を併記したが、この材料は金属とスケールの熱膨張係数の差が大きいため、くり返し

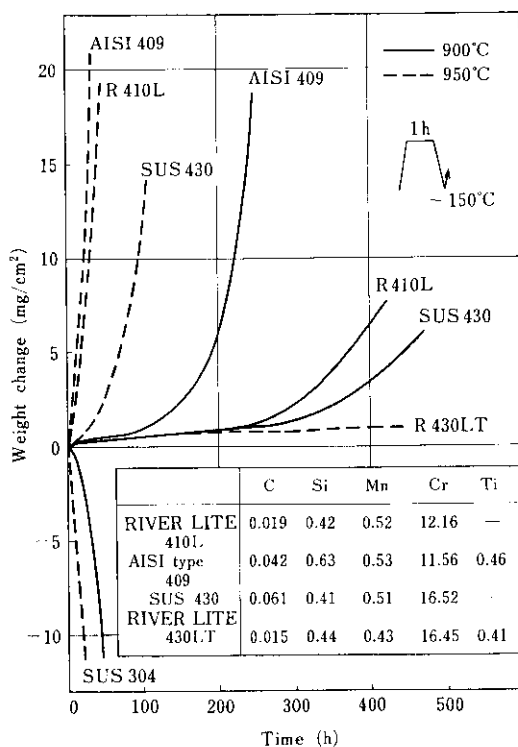


Fig. 1 Weight change of typical commercial steels by cyclic heating in air at 900° or 950°C

加熱によりスケールが剥離しやすく重量の減少が大きい欠点がある。しかしながら、厚みが漸減するのみで、フェライト系鋼に起こりやすい局部的加速酸化をうけないため、耐用年数にみあう板厚を採用すればこの温度でも十分使用できる。一方フェライト系ステンレス鋼の場合、金属とスケールの熱膨張係数の差が小さいためにスケールの剥離が起こりにくく、重量変化はオーステナイト系に比べて非常に小さい。しかし、何らかの理由でいったん保護被膜が破れたり、あるいは被膜直下の金属中のCrが減少して保護性のある被膜形成を維持できなくなると、スケールこぶや厚い α -Fe₂O₃を主体としたスケールが生成し重量の急激な増加が起こる。このような状態では耐酸化性はまったく失われ、完全酸化へと進行する。Fig. 1でわかるように、900℃でのくり返し加熱では11%Cr系のAISI 409やRIVER LITE* 410L

* "RIVER LITE" は当社が開発した新鋼種の商品名を表す記号

(以後 R410L と記す) はもちろん, 17%Cr 系の SUS 430 でも数百回の加熱後には厚いスケールを生成し重量の急増が起こっている。一方, Ti 添加極低 C 鋼である RIVER LITE 430LT (以後 R 430LT と記す) は, 950°C で 400 回程度のくり返し加熱を行ってもスケールこぶや厚いスケールの生成はなく, 良好な耐酸化性を有している。つぎに, 連続加熱した場合の酸化曲線を Fig. 2 に示す。この場合はスケールの剝離をくり返さないため SUS 304 の重量変化は小さい。フェライト系ステンレス鋼ではくり返し加熱の場合と同じく, R 430LT 以外は 900°C 以上の温度での長時間の使用に耐えないことがわかる。R 430LT は 900°C 前後の温度での耐酸化性が良好で, くり返し加熱や連続加熱のいずれでも十分使用に耐えるといえる。また本鋼は長時間加熱しても脆化することなく良好な延性を保持している。

R 430LT は本来耐食性, 成形性が優れている 17% Cr 鋼として開発された³⁾ものであり, 耐酸化性に対

しては必ずしも最適の成分にあるとはいえないが, 量産鋼種であり, 複雑な形状を必要とする用途に適している。

3. 耐酸化性に対する主要元素の影響

前述のように, R 410L や AISI 409 あるいは SUS 430 は 900°C での長時間の使用に適さず, 使用温度はせいぜい 850°C 止まりである。そこでこれらの鋼の耐酸化性が主要元素のみを変えることにより, どの程度改善されるかを調べた。試験片はおもに 10kg あるいは 30kg の真空溶解鋼を用い, Fig. 3 に示す工程により作成した。

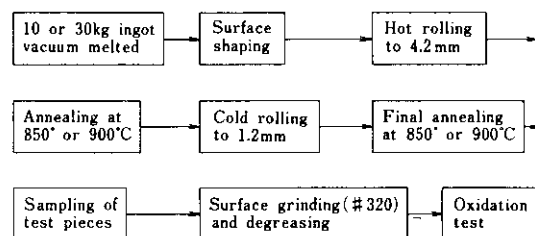


Fig. 3 Preparation process of oxidation specimens

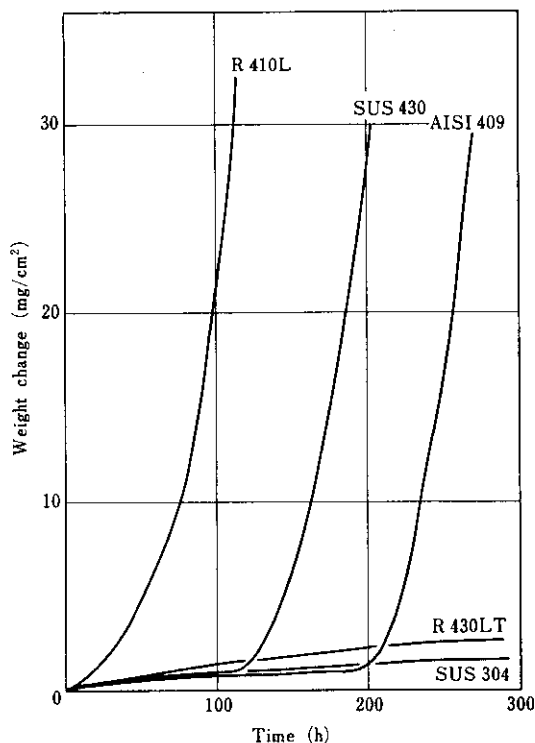


Fig. 2 Weight change of typical commercial steels by continuous heating in air at 900°C

3.1 Cの影響

Cはこれまで多くの報告で耐酸化性に対して有害である^{4,5)}といわれ, できるだけ低く抑えるほうが好ましいとされている。そこで, SUS 410系鋼について耐酸化性に対する C の影響を調べた。その結果を Fig. 4 に示す。C 含有量の低下とともに酸化による急激な重量増加が長時間側へとずれ, 耐酸化性が改善される。通常低 C と称される 0.02% C でも耐酸化性の点からはまだ改善の余地があり, 0.008% C 以下になると 11% Cr 鋼でも 17% Cr 鋼 (SUS 430) と同程度の耐酸化性を示すようになる。重量変化に及ぼす C 含有量の影響を Fig. 5 に示す。

使用温度の上限が 900°C 以下の場合, 耐酸化性という点からだけみると 100ppm 以下の極低 C の 410 鋼を使用することが可能である。ただ 410 鋼は低 C 材でも約 820°C をこえると $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態を起こすため, 冷却に際しマルテンサイト相が生成し,

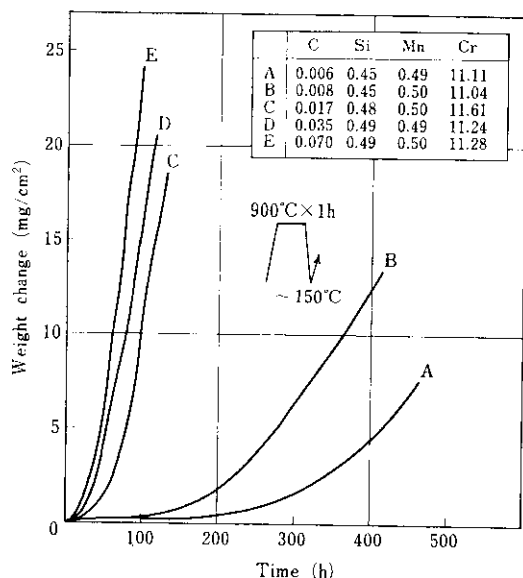


Fig. 4 Effect of C on weight change of 11%Cr steel by cyclic oxidation in air at 900°C

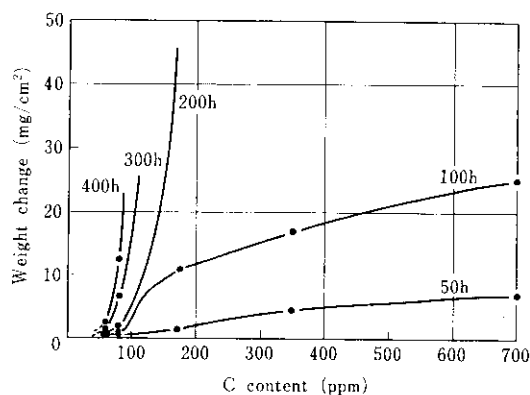


Fig. 5 Effect of C on weight change of 11%Cr steel by cyclic heating in air at 900°C

室温での延性低下が考えられる。一方、加熱温度が 950°C になると酸化の初期から Fe を主体とした厚いスケールが生成し、C の低下だけでは十分満足すべき耐酸化性を与えられないので他の対策が必要となる。

低 C 化による耐酸化性の改善効果は 17% Cr 鋼の SUS 430 においてもみられる。50t 電気炉+真空吹錬のプロセスによって商用生産された極低 C 材のくり返し加熱による酸化特性は、Fig. 6 に示すように通常のものに比べて改善され、950°C で厚

いスケールが生成するまでの時間が数百時間にのびる。一方、C 含有量の異なる Ti 添加鋼 R 430LT の商用製品は、いずれも良好な耐酸化性を示し相互に大きな差はみとめられない。これは後述するように、これらの生成するスケールが薄く、しかも

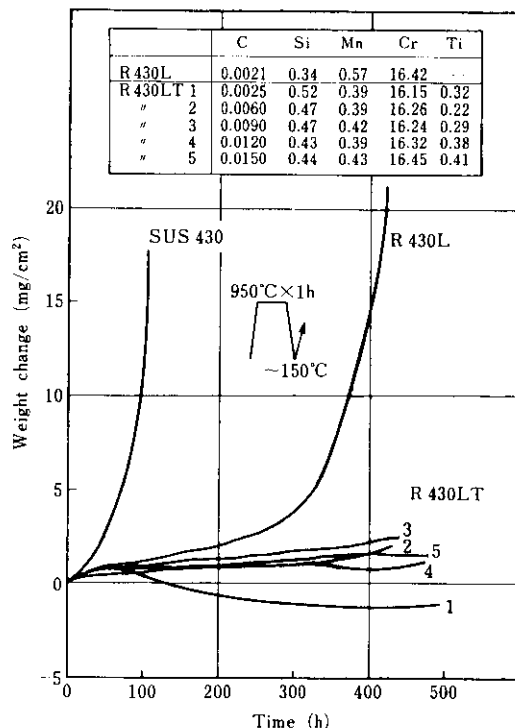


Fig. 6 Effect of C on weight change of RIVER LITE 430 steel by cyclic heating in air at 950°C

冷却に際しそれが剥離するという共通の挙動を示すためである。しかし連続加熱による重量増加から求めた放物線速度定数 K ($[(\text{重量変化})^2 / \text{酸化時間}]$) は Fig. 7 に示すように変化し、長時間加熱によりスケールこぶを生成するような高温での酸化に対して極低 C 化が有効であることがわかる。極低 C 材の酸化挙動の特徴は、スケールこぶの発生が抑えられることとスケールこぶができてその発達が非常におそいことである。C のこのような悪影響の理由は、金属地中の C が CO あるいは CO₂ になって試料表面から脱出する際にスケールを破壊するため、あるいはスケール中で CO、CO₂ となってポーラスなスケールにするため⁴⁾ といわ

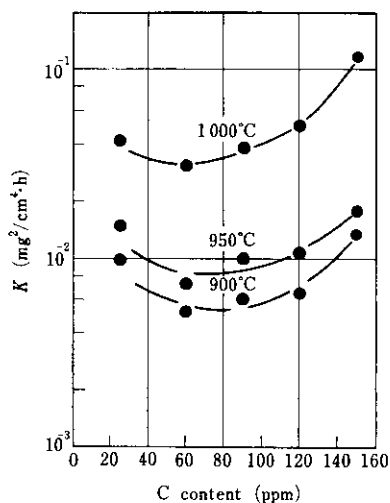


Fig. 7 Effect of C on parabolic rate constant K of R 430LT
 K is determined from equation
 $w^2 = K \cdot t$, where w is weight change (mg/cm^2)
 and t is oxidizing time (h)

れているが、COあるいは CO_2 と Cr_2O_3 との解離 O_2 分圧を比べると後者の機構のほうが可能性が強い。1000°C 1h 酸化した R 430LT の表面の走査電顕による観察結果を Photo. 1 に示す。いずれも #1000 エメリー仕上げ後の酸化であるが、酸化初期に表面に生成するスケールの状況は

C含有量によって大きな違いはみとめられない。このことは、酸化初期の被膜はC含有量によらず同じように生成し、その成長過程で差が現れることを示唆している。しかし 150ppm C とやや C の多い場合は、表面に生成するスケールの下地の凹凸が大きくなっており、この点にのみ差が認められる。

以上のように極低C化により酸化特性が大きく改善され、とくにCを 100ppm 以下にすることによりその効果が著しくなる。近年ステンレス溶鋼の真空処理技術がめざましく進歩しており、Fig. 6 中の例で示したように 17% Cr 鋼でも数 10ppm の極低C化を容易に達成できる。したがって、とくに耐酸化性が要求される材料に対しては、この極低C化技術を十分活用してその利点を生かすべきであろう。

3.2 Cr の影響

Cr は耐酸化性を与える必須の元素であるが、これまでのステンレス鋼は主として耐食性や機械的性質を重視してその成分量が決められており、耐酸化性については必ずしも配慮されていない。そこで 900°C 前後で良好な耐酸化性を与えるのに必要な Cr 量について調べた。前述のように、410 系鋼は極低C化してもこの温度でマルテンサイト

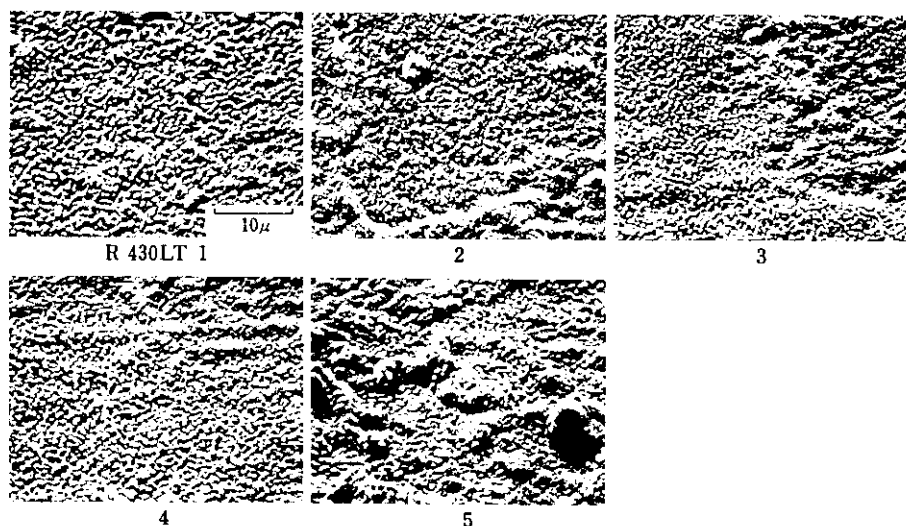


Photo. 1 Scanning electron micrographs of the surface of R 430LT in Table 2, oxidized in air at 1000°C for 1h

を生成し延性が低下するので、ここではTiを添加した409鋼を基本として調査した。

Fig. 8に得られた結果を示す。Crの影響のしかたは単純ではないが、8%Crでは900°Cでの加熱初期から厚いスケールが生成し、保護性を有する被膜は形成されない。900°Cで長時間の耐酸化性を得るにはCr含有量が約14%は必要である。より極低C化すればこのCr量もさらに少なくてすむと予想される。しかし、14%Crでも950°Cでは短時間で厚いスケールが生成するので、使用温度は900°C以下に限定される。

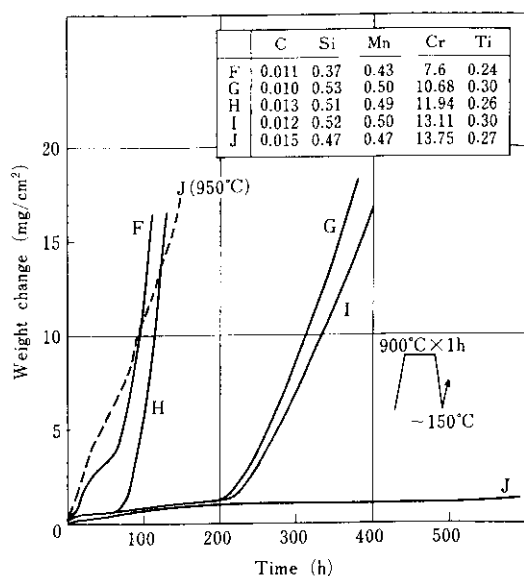


Fig. 8 Effect of Cr on weight change of Ti-bearing steels by cyclic heating in air at 900° and 950°C

3.3 Siの影響

Siは耐酸化性を改善するためによく用いられる元素であるが、固溶強化作用が大きい⁶⁾ため成形性や加工性の点で大量添加は困難である。

Si含有量の異なる11%Cr鋼のくり返し加熱による酸化曲線をFig. 9に示す。409鋼のSiが0.9%になると900°Cでの耐酸化性は非常に向上し、700回のくり返し加熱でも厚いスケールやこぶの発生が見られないが、950°Cになるとやはり短時間でFe系の厚いスケールが発達する。しかしSi

が1.4%になると、950°Cでも優れた耐酸化性を発揮するようになる。2%以上のSiを含むものは950°C以上の温度でのくり返し加熱に対しても安定した耐酸化性を有しており、わずかの重量変化しか認められない。これらの高Si 409鋼もR 430 LTと同じく冷却に際して薄いスケールの剥離を生ずる。

Tiを添加しない410系鋼の場合には、0.8%Siで900°C、400回のくり返し加熱の後に微細なスケールこぶが発生した。この材料は、950°Cの加熱では初期から厚い剥離性のスケールが生じ耐酸化性はまったくない。Siが2%以上になると1000°Cの加熱でも安定した耐酸化性を示すようになる。

409鋼および410鋼の300h連続加熱における酸化重量変化に及ぼすSi含有量の影響をFig. 10に示す。0.01%C-11%Cr系鋼では、ある一定温度での耐酸化性を与えるのに必要なSi量はTiの有無によらずほぼ同じで、900°Cの耐酸化性を得るには約1%、950°Cでは1.5%、1000°Cでは2%Siが必要となる。

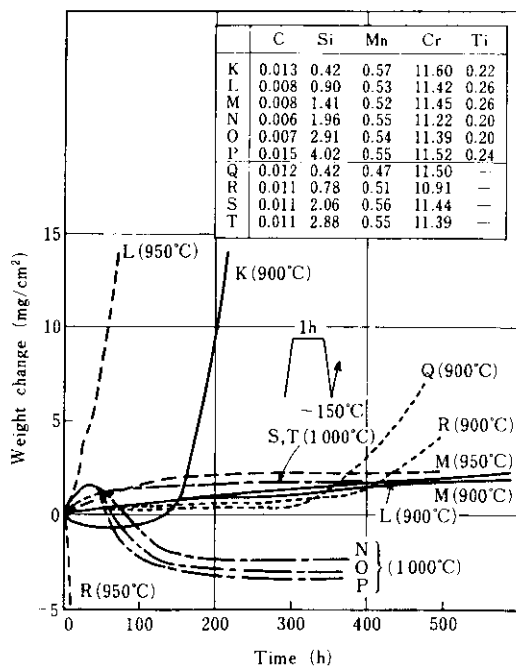


Fig. 9 Effect of Si on weight change of Ti-bearing or Ti-free 11%Cr steels by cyclic heating in air at 900~1000°C

耐酸化性に対する Si の影響は、1 000℃ 以上の高温ではスケール・メタル界面に SiO_2 の被膜を作る^{7,8)} ことによると考えられる。一方、900℃では、300h の連続加熱後の EPMA 分析結果 (Photo. 2 参照) に見られるように長時間酸化後の高 Si 材でも明確な SiO_2 被膜の形成が認められない。しかし Fig. 11 に示す IMMA による短時間

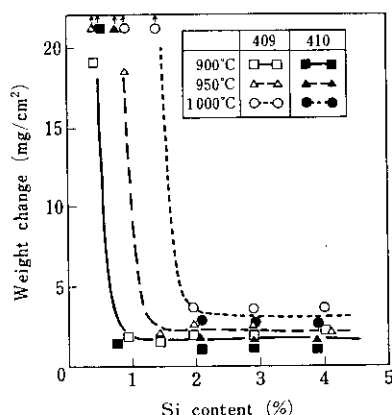


Fig. 10 Effect of Si on weight change of 11%Cr steel by continuous heating in air at various temperatures for 300h

酸化後の分析結果ではスケールのメタル側に Si の濃化が認められ、このことが耐酸化性に寄与しているものと思われる。

3・4 Ti の影響

Ti は材料の成形性にとって有利な再結晶集合組織を形成する効果があり、また α 相を安定化し γ 相の生成を抑えるので高温での加熱・冷却後のマ

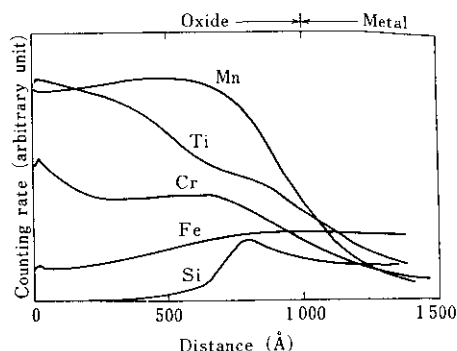


Fig. 11 Distribution of elements (IMMA, O_2^+ sputtering) in oxide film of extra low C-2%Si-0.2%Ti-11%Cr steel oxidized in air at 900℃ for 30min

ルテンサイト生成を抑制する。しかし、Fig. 1 に示したように、微量に添加した場合は無添加の 410 系鋼よりも耐酸化性を劣化させている。Ti 添加量を変えた 409 系鋼のくり返し酸化曲線は Fig. 12 に示すとおりである。Ti 添加量の増加に伴い耐酸化性は若干改善されているが、無添加材に比べるといずれも劣り、900℃での長時間の耐酸化性を与えるには 0.5% でも不足である。Photo. 3 に、0.5% Ti-11%Cr 鋼を 900℃・300h 連続酸化したあとの断面について EPMA 分析した結果を示す。この試料のスケールは冷却に際して剥離を生ずるが、ここに示すものは剥離せずに残存した部分についての結果である。これによると、Ti はスケールの最外部と最内部およびメタル中に分布している。最外部では Cr, Mn と共存していることから、おそらく $(\text{Mn}, \text{Ti})\text{O} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ となっているのであろう。また最内部にある Ti は Si と共存しており、

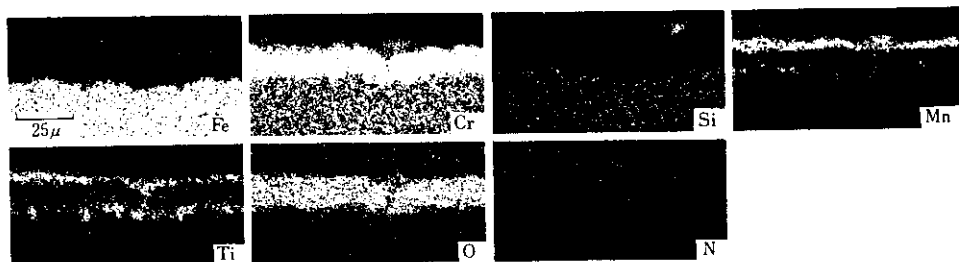


Photo. 2 Result of electron probe micro analysis showing the distribution of elements through metal and scale for low C-4%Si-0.2%Ti-11%Cr steel oxidized in air at 900℃ for 300h

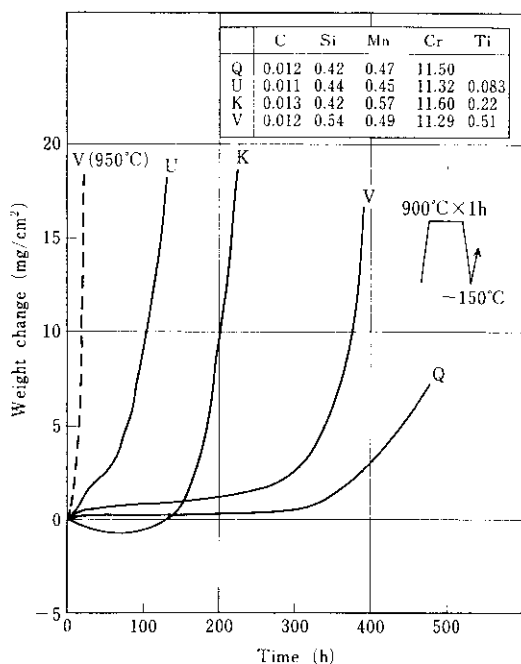
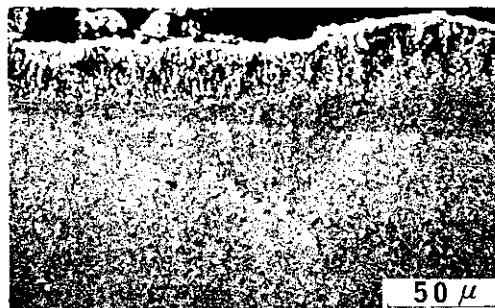


Fig. 12 Effect of Ti on weight change of 11%Cr steel by cyclic heating in air at 900° and 950°C

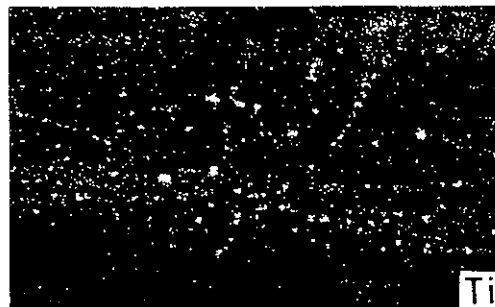
表面からのX線回折により TiO_2 が同定されたことから、薄い被膜やサブスケールとして TiO_2 の形で存在するものと考えられる。メタル中にあるTiはその形状からTiNと判断される。Tiのスケール中における分布は、R 430LTや高Si 409系鋼でもまったく同様に観察された。しかしこれらにはスケール直下のメタル中のTiNは認められなかった。Ti添加鋼で比較的厚いスケールを生成す

る場合には、Photo. 4に示すようにメタル中の粒界や粒内にTiNが多数観察されるので、酸化膜の保護性が弱い場合にはこれを通してのNの吸収が起こっているといえる。

Tiの添加量をさらに増せば耐酸化性は向上する⁹⁾と考えられるが、Tiは高価な元素でありコストとのバランスがとれないであろう。したがって、



(a) SE image



(b) Ti Kα image

Photo. 4 Distribution of Ti in the specimen shown in Photo. 3 after cyclic oxidation in air at 950°C for 127h, showing nitrogen penetration and TiN precipitated

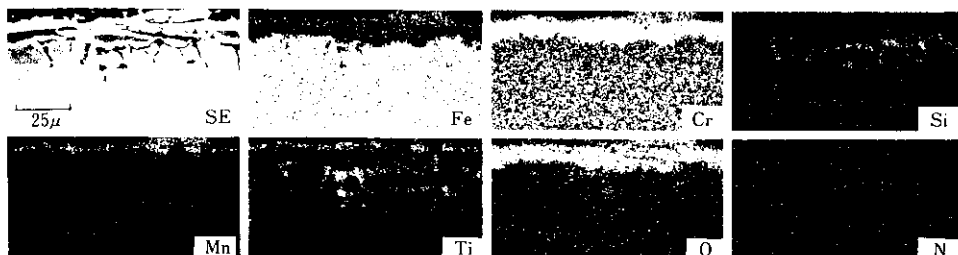


Photo. 3 Result of electron probe micro analysis showing the distribution of elements through metal and scale for low C-0.5%Si 0.5%Ti-11%Cr steel oxidized in air at 900°C for 300h

Tiの添加は耐酸化性向上のためでなく、成形性や酸化後の延性低下防止の観点から考慮されるべきである。

Ti添加材の特徴は、加熱後の冷却に際してスケールの剥離が起こることである。剥離の状況をPhoto. 5に示すが、剥離部はメタル地が露出している。これは、Photo. 3に示したようにスケールのメタル側にTiO₂の被膜やサブスケールが生ずることと、TiO₂の熱膨脹係数がCr₂O₃やFe₃O₄のそれよりも小さい¹⁰⁾ことが原因と考えられる。

3・5 Alの影響

Alは耐酸化性を向上させるために一般的に用いられる元素であり、多くのFe-Cr-Al鋼が公表されている。しかるにこれらは高温用鋼であり、数%ものAlを含むため、加工性や溶接性が悪いという欠点がある。そこでAlを少量添加した場合の耐酸化性に対する効果を11%Cr鋼について調べた。900°Cでのくり返し加熱による酸化曲線をFig. 13に示す。少量添加の効果はTiの有無により異なり、410系鋼では0.3%の添加は耐酸化性を劣化させ、さらに大量のAlが必要と考えられる。一方、409系鋼では少量のAl添加により耐酸化性が向上するが、Ti, Alのない410鋼よりは劣り、0.7%の添加でようやくこれと同等となる。したがってAlによって耐酸化性の改善を図るにはさらに多くの添加が必要となる。

またAlを少量添加したものでは、900°Cでの耐酸化性がかなりよくてもPhoto. 6に示すように

AlNおよびTiNの生成がみられ、表面にち密なAl₂O₃の被膜を形成しない程度の添加ではNの吸収が起こることがわかった。このようなAlNやTiNは材料の延性を低下させるので、この点でもAlのみの少量添加は好ましくない。またAlNの生成によって地鉄中のAlが消費される結果、とくに高温での耐酸化性が劣化しスケールこぶ発生の原因となる⁵⁾ことがよく知られている。

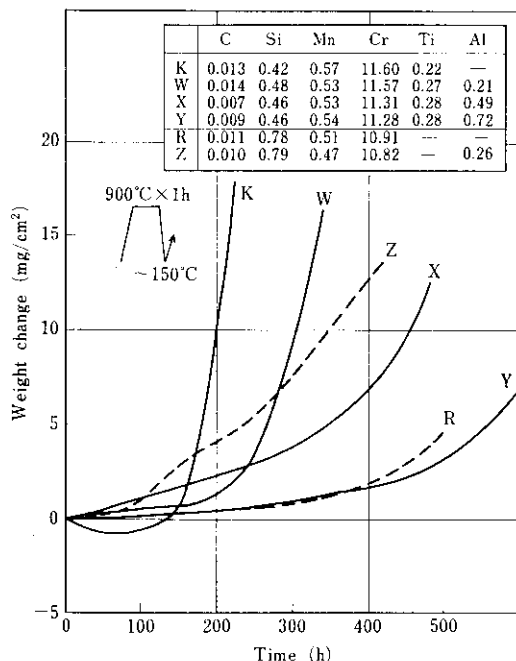
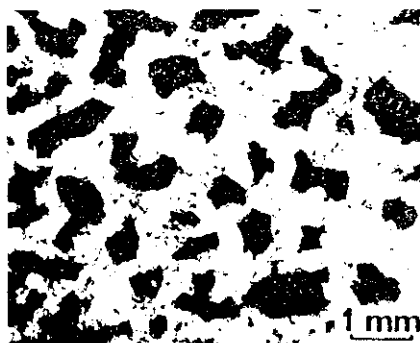
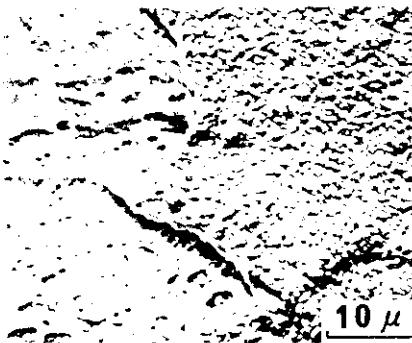


Fig. 13 Effect of Al on weight change of 11%Cr steels by cyclic heating in air at 900°C



(a) Falling off of oxide film during cooling



(b) Scanning electron micrograph of the same specimen as (a)

Photo. 5 Surface appearance of R 430LT 5 in Fig. 6 oxidized in air at 1000°C for 1h

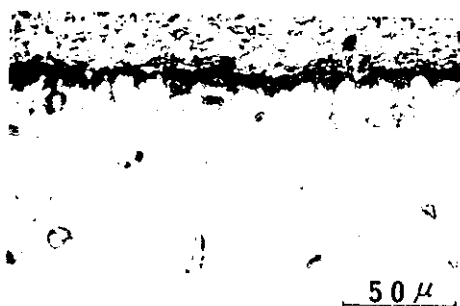


Photo. 6 Optical microstructure of low C-0.5%Si-0.3%Ti-0.7%Al 11%Cr steel after cyclic oxidation in air at 950°C for 500h (precipitates are AlN and TiN)

4. 11%Cr 高Si材の加工性

以上述べたように、主要成分だけを単独に変化させてもステンレス鋼の耐酸化性をかなり向上させることが可能である。また、これらをいくつか組合せることによってさらに優れた特性を得ることができるであろう。しかし、複雑な成分の組合せによるまでもなく、極低C化してSiを高めれば、工程上特別な問題もなく容易にしかも安定した耐酸化性が得られる。SiはCrとともに多ければ多いほど耐酸化性を向上させるので、その上限は加工性、成形性の面から、あるいは使用上限温度から決定される。Fig. 9の、Si含有量を変えた11%Cr鋼のエリクセン値とコニカルカップ値をFig. 14に示す。Siが増すと強度が高くなり、これに伴って成形特性は劣化する。Tiを含むものは、とくに絞り成形性が優れており、この点で、409系高Si材は各種の用途に適しているといえる。Fig. 10に示した結果を考慮すれば、900°C前後の温度で使用される材料としては、1.5%Si材がもっとも適しているといえよう。

以上の結果に基づいて極低C、高Siを中心に成分設計した新鋼種R 409 SR 2を工程試作した。それらの化学組成をTable 1に、得られた特性値をTable 2,3に示す。いずれの鋼も十分な機械的性質、成形性を有しており、とくに溶接部の加工性が優れている。またこれらの鋼の耐酸化性はFig. 9に示したものと同等であることが確認された。

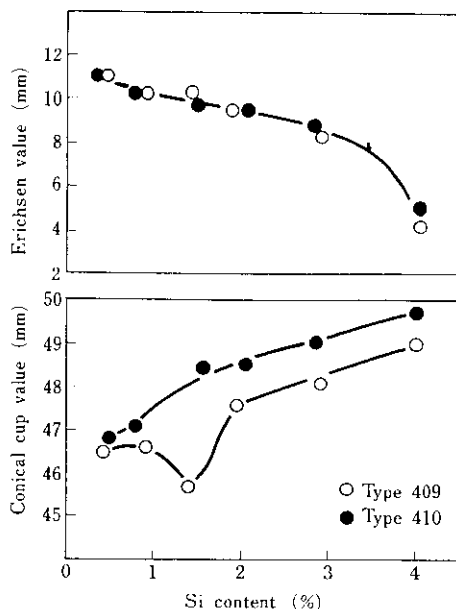


Fig. 14 Effect of Si on formability of Ti-bearing or Ti-free 11%Cr steels (1.2mm thick)

5. むすび

主として自動車排気浄化装置の触媒コンバータのような、900°C前後の温度でくり返し加熱を受ける用途に適するステンレス鋼を得る目的で、市販のステンレス鋼の耐酸化性を調べるとともに、これに対する主要成分の影響について調べた。

その結果次のことが明らかとなった。

- (1) Cは耐酸化性に有害で、100ppm以下の含有量でもその効果は顕著である。
- (2) Crのみにより900°Cの耐酸化性を与えるには、14%以上の添加が必要である。
- (3) Siは耐酸化性を著しく改善し、11%Cr鋼では約1%で900°C、1.5%で950°C、2%では1000°Cの使用に適した耐酸化性が得られる。
- (4) 少量のTiは耐酸化性を劣化させるが、成形性を向上させる。
- (5) 少量のAlは耐酸化性を劣化させる。

これらの結果から900°C前後の温度で耐酸化性に優れ、しかも成形性にも優れる材料としては、市販鋼のうちでは極低C、Ti添加17%Cr鋼のR 430 LT

Table 1 Chemical compositions of trial products, RIVER LITE 409SR

Specimen No.	(wt%)				
	C	Si	Mn	Cr	Ti
1	0.01	1.50	0.57	11.74	0.25
2	0.01	2.07	0.37	10.72	0.21

Table 2 Mechanical properties and formability of trial products, RIVER LITE 409SR with thickness of 1.2mm

Specimen No.	Direction *	PS (kg/mm ²)	TS (kg/mm ²)	El (%)	n 5~15%	r 15%	H _v 1kg	Er (mm)	CCV 60φ (mm)	Bulge 100φ (mm)
1	L	30	49	35	0.24	1.02	153	10.4	46.7	34.7
	D	32	51	34	0.22	0.96				
	T	31	50	35	0.23	1.61				
2	L	35	53	35	0.23	1.19	164	10.4	47.1	34.3
	D	37	56	31	0.21	0.94				
	T	36	54	35	0.21	1.80				

• L : Longitudinal
D : Diagonal
T : Transverse

Table 3 Results of bending and Erichsen tests for TIG weldments

Combination	Bendability		Er ratio * (%)
	Bending axis // Bead	Bending axis ⊥ Bead	
R 409SR1+R 409SR1	$r=0t$, Good	$r=0t$, Good	97
R 409SR2+R 409SR2	"	"	95
R 430LT+R 430LT	"	"	66
SUS 430+SUS 430	$r=1t$, 45°	—	17

* Er value for weldment/Er value for sheet

が挙げられる。しかし 11%Cr 鋼ではあるが、AISI type 409 を極低 C とし、Si を高めた新鋼種 R 409 SR は R 430LT と同等の耐酸化性を示し、加工性も優れているので本用途に対しては最適

の材料と考えられる。この材料について工程試作を行い十分満足すべき特性が得られることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 大沢：ステンレスの応用・加工，2（1974）1，18
- 2) 小野，佐藤，川崎，岡，大橋：川崎製鉄技報，7（1975）1，21
- 3) 木下：特殊鋼，21（1972）10，7
- 4) W.E.Boggs：J.Electrochem. Soc.，118（1971）6，906
- 5) 庄司，秋山，私市，永利，星：鉄と鋼，62（1976）1，108

- 6) 竹内：鉄と鋼, 55 (1969) 1, 69
- 7) G.C.Wood, J.A.Richardson, M.G.Hobby, J.Boustead : Corrosion Science, 9 (1969), 659
- 8) 白岩, 藤野, 松野：鉄と鋼, 54 (1968) 4, 534
- 9) 諸石, 牧浦：鉄と鋼, 61 (1975) 4, S190
- 10) 本間：防食技術, 25 (1976), 251

