

次世代型レキュペレータ用 高Crフェライト系耐熱鋼 SIC12ES

1. はじめに

鉄鋼・非鉄金属業や窯業で使用される溶解炉、加熱炉、熱処理炉などの各種工業炉では、燃焼後に排出されるガスの熱を、熱回収装置を介して、炉内に導入される燃焼用空気の予熱に再利用することで、エネルギー効率の向上が図られている。熱回収装置にはレキュペレータ（換熱式、図1：概略図）が広く普及しており、当社のSICシリーズ¹⁾はその伝熱管の材料として廃熱回収装置メーカーをはじめとする多くのお客様に長年にわたってご使用いただいている。

近年、世界的な環境保全志向の高まりを背景に、次世代型レキュペレータには更なるエネルギー効率の向上が望まれている。エネルギー効率を向上させることで燃料節減とCO₂排出削減に貢献できるためである。

エネルギー効率の向上には廃熱回収温度を高めることが

有効であるが、従来材では現状よりも高い温度環境下での材料強度が不足するため、耐久性の低下を招く。その問題を解消するため、従来材より高温強度に優れた本鋼の開発に至った。

本稿で紹介するSIC12ESは、現在レキュペレータの伝熱管としてご愛顧いただいている当社のSICシリーズのなかで耐酸化性と耐高温腐食性が最も優れているSIC12の性能を引き継ぎ、さらに大幅に高温強度を向上させた鋼である（図2）。その鋼種特性を以下に紹介する。

2. SIC12ESの特徴

2.1 ミクロ組織

SIC12ESでは、金属間化合物の析出による強化を狙った独自の合金設計と組織制御技術を活用している。図3にSIC12ESと従来材SIC12の高温保持後のミクロ組織を示

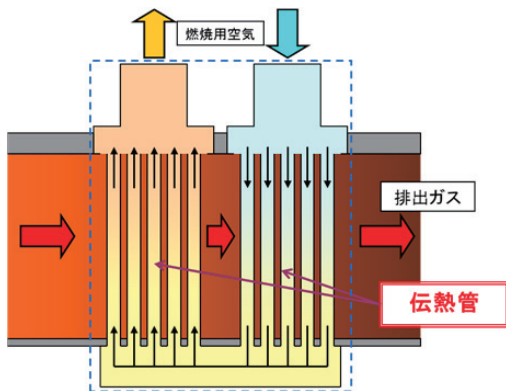


図1 レキュペレータの仕組み



図2 SIC12ESの位置付け

金属間化合物の結晶粒界・粒内析出による高温強度向上

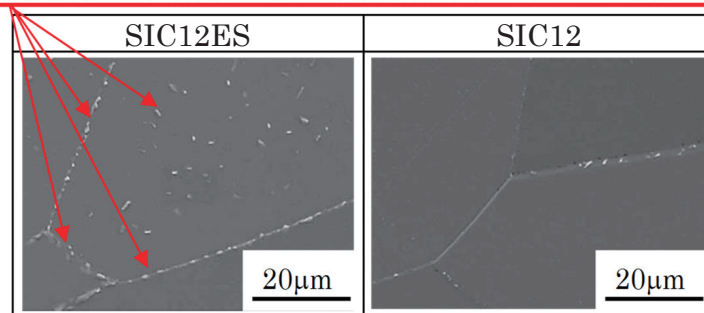


図3 800~820℃で2年間保持後のミクロ組織

す。SIC12ESでは、結晶粒界・結晶粒内に金属間化合物が確認できる。これらの金属間化合物は、高温環境下での使用中に析出し、高温強度の向上に寄与している。

2.2 高温強度

図4に高温クリープ破断試験結果を示す。SIC12ESの850℃における高温クリープ破断強度はSIC12の850℃における強度よりも優れており、SIC12の750℃の結果と同水準である。これは即ち、SIC12ESがSIC12比で100℃高い環境下でも熱変形に対して優れていることを示す。

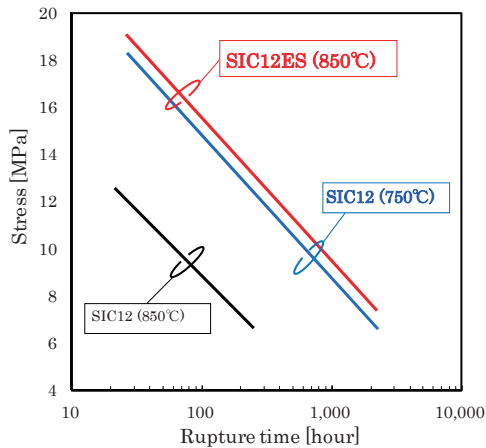


図4 高温クリープ破断試験結果

2.3 耐高温腐食性

図5にSIC12ESの連続酸化試験結果を示す。同一試験温度での重量減は少なく、SIC12ESの耐酸化性はSIC12同等以上である。なお、当該試験においては、実使用環境となる700℃～900℃未満の温度域での両鋼種の酸化減量はさらに僅かであるため、加速試験としてより高温での評価を行った。

また、図6にSIC12ESのサルファアタック試験結果を示す。伝熱管は、燃焼後の排出ガスが通過する高温腐食環境下に曝されるが、燃料に由来する硫黄を含んだ環境を想

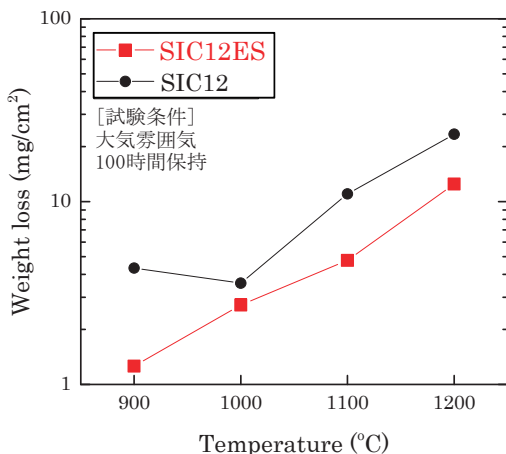


図5 連続酸化試験結果

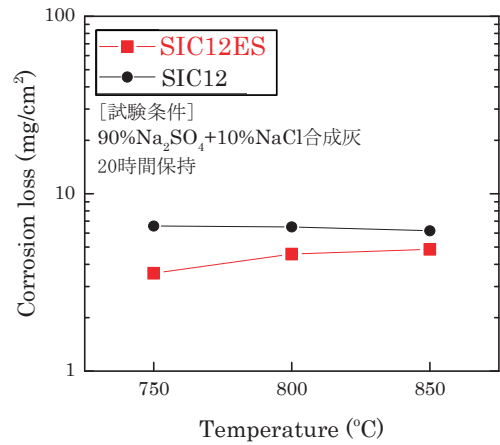


図6 サルファアタック試験結果

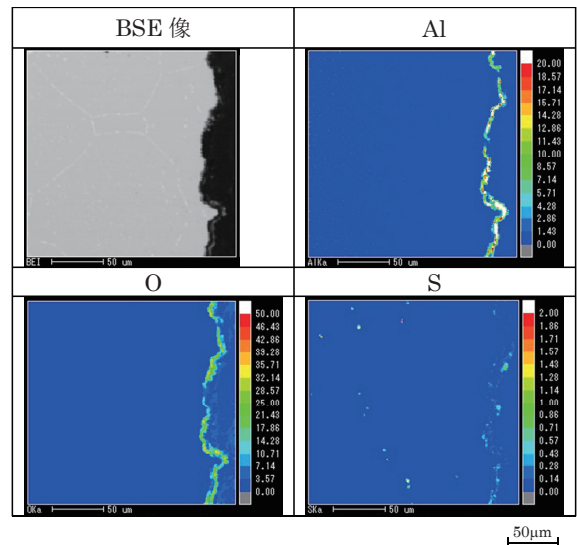


図7 800～820℃で2年間保持後のSIC12ES表層断面EPMA分析結果

定したサルファアタックに対しても、SIC12以上の高い耐食性を示している。

さらに、実際の使用環境である製鋼設備にて800～820℃の廃ガス環境に2年間暴露した後も、安定な耐食被膜が形成されており、減肉はほとんど生じておらず、内部酸化も認められなかった。図7に、試料の断面EPMA分析結果を示す。腐食性物質であるSは鋼材表面の酸化物と共に存在しており、外環境から鋼材内へのSの侵入は見受けられない。

2.4 物性値

表1に熱伝導率、表2に平均膨張率を示す。SIC12ESの熱伝導率および平均膨張率はともにSIC12と同等であり、伝熱管として優れた物性値を有している。

表1 熱伝導率 (W/m・K)

	SIC12ES	SIC12
750℃	24.5	23.8
800℃	25.4	24.5
850℃	26.3	25.2

表2 平均熱膨張率 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

	SIC12ES	SIC12
RT~750℃	13.2	13.6
RT~800℃	13.4	13.8
RT~850℃	13.7	14.1

3. まとめ

SIC12ESはSIC12と同等の物性値を兼ね備えながら、高温強度、高温耐食性に優れた鋼種であり、“Extreme Sustainability (最高の持続可能性)” の意を込めて命名した。この優れた特性を活かすことで、レキュペレータとして使用した際のエネルギー効率向上による燃料節減、またそれに伴うCO₂排出削減が期待できる。

LNGを燃料とした加熱炉のレキュペレータ管にSIC12ESを適用した場合を想定する。従来はレキュペレータ管の高温強度（すなわち、耐用温度）に合わせて、煙道に空気を混ぜて排気ガスの温度を下げる“希釈”を必要とする。一方、SIC12ESでは希釈が不要あるいは軽減可能となり、加熱炉内に供給する燃焼用空気を高温化することで燃料消費を抑え、約10%のCO₂排出削減をもたらすとの試算結果を得ており、ユーザー様での環境保全活動および省エネルギー化によるコスト削減に大いに貢献できると考える。

参考文献

- 1) 山陽特殊製鋼技報, 3 (1996) 1, 95.