MA・ODS 合金のスキッドレールの開発

附 田 賢 治^{*1} 飯久保知人^{*2} 磯 部 晋^{*3}
岩 丸 正 明^{*4} 清 水 成 人^{*5}

1. は じ め に

鋼片加熱炉内のスラブやビレット等の被加熱材は、それらを支持、搬送するスキッドレールとの接触により、スキッドマークと呼ばれる低温部が発生し、次工程の圧延において、その部分に割れを生じさせたり、圧延寸法精度を悪化させる原因となっている。スキッドマークを低減するため、スキッドレールの高さは増加する傾向にある。また操業の効率化や品質向上を目的とし加熱温度が上昇傾向にあり、1623 K におよぶ場合もある。従来スキッドレールには、固溶強化型耐熱鋳造合金が使用されているが、上記のニーズに対応するには高温強度並びに耐酸化性が既に限界に達している。このような背景から、超高温に耐えられる材料として、融点に近い温度まで十分な強度を保持し、しかも耐酸化性に優れた MA・ODS (Mechanically Alloyed Oxide Dispersion Strengthened) 合金のスキッドレールへの実用化に関する研究を推進した。その結果、世界で初めて MA・ODS 合金スキッドレールの量産を可能にした。MA・ODS 合金は既に軍用ジェットエンジンの静翼に実用化されている⁽¹⁾が、民需での実用化は初めてである。

2. 開 発 の 経 過

(1) MA・ODS 合金の選定

スキッドレールの変形および損耗は主に圧縮クリープと酸化によってもたらされる。また腐食損傷は燃焼ガス雰囲気中で起こる。そこで材料の選定は各 MA・ODS 合金の特

性を考慮して行った。表 1 に候補となる MA・ODS 合金と現有材である固溶強化型合金の化学組成および融点を示す。図 1⁽²⁾に MA758 の熱間押出材の 1623 K, 49 MPa の条件での熱間押出方向(L)とそれに垂直な方向(T)のクリープ曲線を示す。1623 K は $0.98T_m$ (T_m : 固相線温度)

図 1 MA758 の圧縮クリープ曲線。

表 2 MA・ODS 合金および固溶強化型耐熱鋳鋼の圧縮定常クリープ歪速度の構成方程式。

合金	構成方程式
MA758	$\dot{\epsilon} = 2.053 \times 10^8 \sigma^{2.46} \exp(-133.0/RT)$
MA754	$\dot{\epsilon} = 1.276 \times 10^{10} \sigma^{1.99} \exp(-144.1/RT)$
MA956	$\dot{\epsilon} = 1.264 \times 10^2 \sigma^{3.59} \exp(-99.8/RT)$
TH101	$\dot{\epsilon} = 2.207 \times 10^7 \sigma^{2.19} \exp(-106.0/RT)$

$\dot{\epsilon}$ [s⁻¹], σ [MPa], $R = 1.986 \times 10^{-3}$ [kcal·mol⁻¹·K⁻¹], T [K]

表 1 MA・ODS 合金および固溶強化型耐熱鋳鋼の化学成分(wt%)と融点(K)。

合金	C	Ni	Cr	W	Co	Fe	Ti	Al	Y ₂ O ₃	Solidus	Liquidus
MA758	0.05	Bal.	29.32	—	—	0.67	0.47	0.25	0.60	1646	1672
MA754	0.05	Bal.	19.55	—	—	0.33	0.46	0.33	0.57	1685	1713
MA956	0.01	0.06	19.88	—	—	Bal.	0.38	4.52	0.62	1776	1794
TH101	0.13	21.46	31.32	2.07	22.94	(19.9)	—	—	—	1628	1659

* 大同特殊鋼株式会社

研究開発本部特殊鋼研究所：1) 研究員 2) 室長 3) 所長

4) 東京技術サービス部次長 5) 知多工場係員

Development of MA・ODS Alloy Skid Rails; Kenji Tsukuta, Tomohito Iikubo, Susumu Isobe, Masaaki Iwamaru, Narito Shimizu (Daido Steel Corporation)

1992年1月31日受理

と、融点直下の温度でありながらも遷移、定常、加速の3段階を有する典型的なクリープ曲線を示す。また、L方向のクリープ速度はT方向の約1/17と小さく、クリープ強度の異質性が大きい。表2に圧縮クリープ試験データから求めた定常クリープ速度の構成方程式⁽²⁾を示す。構成方程式では歪速度が応力と温度の関数で表されている。

図2 MA・ODS 合金および固溶強化型耐熱鋳鋼の高温圧縮クリープ強度。

図2⁽²⁾にこれらの式から0.025%/hの歪速度を与える応力を各温度について求めた結果を示す。MA・ODS 合金は1623 Kに至る広い温度範囲において、現有材であるTH101よりも12倍以上大きいクリープ強度を有している。

大気中、1588 Kで等温加熱を行い、熱天秤により酸化増量を求める試験をMA758とTH101について行った結果を図3⁽²⁾に示す。MA758はTH101よりも小さい放物線酸化速度定数を有し、またブレイクアウェイまでの潜伏期間が長く、耐酸化性に優れている。図4⁽²⁾に大気中、1143 Kで50時間、腐食灰5.3C-52.6CaSO₄-31.6BaSO₄-

図3 1588 K、静止大気中におけるMA758とTH101の酸化増量曲線。

図4 MA・ODS 合金および固溶強化型耐熱鋳鋼の高温硫化腐食試験後の重量変化。

10.5Na₂SO₄(wt%)中で行った高温硫化腐食試験における腐食減量を示す。MA754は最も腐食量が多いのに対し、MA956は無視できる程に少ない。

MA・ODS 合金は高温クリープ強度はNi基とFe基では同等であるが、耐高温硫化腐食性はFe基の方がNi基よりも優れている。したがって、硫黄を含有する重油を燃料とする加熱炉にはFe基のMA956が適しており、コークス炉ガスのような低硫黄の燃料にはNi基が適当である。

(2) スキッドレール用MA・ODS 合金の製造

MA 粉の固化は一般的に熱間押出で行い、その後熱間圧延により所望の形状に加工する。スキッドレールの場合は比較的大きな断面のビレットが必要であるため、MA 粉をHIPで固化し、その後熱間圧延によりビレットに加工した。その後、1300℃以上の温度に加熱し、2次再結晶を起こさせ、加工方向に伸長した高アスペクト比の粗大な結晶粒を有する組織とした。

(3) MA・ODS 合金と鋳造材とのハイブリッド・スキッドレール

上記の工程で製造したビレットは切断され、図5に示すスキッドレールの形状に機械加工される。この際、クリープ強度が大きいL方向(熱間圧延方向)がスキッドレールの高さ方向になるよう加工する。スキッドレールは図5に示すように、水冷スキッドパイプの上に取り付けられるため、下部は温度が低い。したがって、下部には高価で高性能なMA・ODS 合金を使用するには及ばず、耐熱鋳鋼製のサドルスキッドを取り付け、その上にMA・ODS 合金をはめ込むハイブリッド構造とした。このことにより、大幅に製造コストを低減することができた。図6に量産したハイブリッド・スキッドレールの外観を示す。

NO.	各部名称	材 質
1	スキッドレール	MA956
2	サドルスキッド	TH101
3	サドル	炭素鋼
4~7	ストッパー	304 S. S.
8	スキッドパイプ	炭素鋼
9		耐火物
10		冷却水

図5 MA・ODS 合金ハイブリッド・スキッドレールの概略図。

図6 MA・ODS 合金ハイブリッド・スキッドレール製品例.

図7 重油燃焼雰囲気加熱炉で7箇月使用したスキッドレールの高さ損耗量.

3. MA・ODS 合金スキッドレールの性能

MA956 ハイブリッド・スキッドレールは大同特殊鋼(株)知多工場の新圧延加熱炉の均熱帯に大量採用され、加熱炉は1990年1月から操業に入っている。炉内温度は1553 Kから1613 Kにおよび、燃料は0.16 wt%硫黄を含む。スキッドレールの高さはスキッドマークを大幅に低減するため世界最高の200 mmとした。図7に使用開始7箇月後の高さ方向の損耗量を同じ加熱炉内の同一部分に設置した金属基複合材料との比較で示す。MA956の損耗量は平均で約1 mmであり、金属基複合材料の約30%と少なかった。図8にMA956スキッドレールの7箇月使用後の外観を示すが、変形はほとんど認められない。図9に本加熱炉で加熱され、抽出されたビレットの表面温度分布をウォーキングハース式加熱炉で加熱されたものと比較して示す。ビレット内の最高温度と最低温度の差、すなわちスキッドマークは200 mm高さのMA・ODS合金を使用することにより18 Kとウォーキングハース式に比べ、38 Kも低減された。通常、スキッドレール高さは約150 mmで、スキッドマークは約35 Kであり、スキッドレールの200 mm化により、より均一な加熱が可能となり、圧延材の品質および寸法精度を一層向上させることができた。

図8 重油燃焼雰囲気加熱炉で7箇月使用したMA・ODS 合金ハイブリッド・スキッドレール外観写真.

図9 加熱されたビレット表面の長手方向の温度分布.

4. 製造実績

このMA・ODS合金スキッドレールは平成1年9月から量産を開始している。今後さらに加熱炉操業の効率化、省エネルギー、品質向上を目的として、本合金スキッドレールの普及が期待される。

5. 特 許

MA・ODS合金、その製造技術、スキッドレールの構造等に関して、国内および米国を初めとする諸外国に特許を出願している。

文 献

- (1) R. K. Wilson, F. L. Perry: Ind. Heat., 51[5], (1984), 27.
- (2) K. Tsukuta, T. Iikubo and S. Isobe: "Application of Mechanically Alloyed Ni-and Fe-base Alloys to Skid Rail for Walking-Beam-Type Reheating Furnaces", Published in Structural Applications of Mechanical Alloying Proceedings of an ASM International Conference, Myrtle Beach, South Carolina, 27-29 March (1990), 99.