

技術解説

株式会社フジコーのハードフェーシング技術の紹介

FUJICO offers Innovative Hardfacing Technology

(株)フジコー 技術開発センター
センター長 工学博士
永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi



1 はじめに

弊社は、昭和27年に鋼塊鑄型補修技術を中心にした創業を開始してから今年で50周年を迎える。これまでも独自技術を開発し、鉄鋼メーカを中心に事業展開が行われている。事業内容は、CPC・溶接・溶射・鑄かけ技術を駆使した各種機械部品の製造、耐熱耐摩耗用溶接材料の製造販売、産機設計・製作・据付、機械保全整備作業、生産工程の請負作業、機械加工・熱処理他多岐にわたる。

近年、地球環境やリサイクル資源関係の重要性が叫ばれ、しかもこれらの項目が身近に感じられることが多い。その中でも図1に示すようにダイオキシン類が人体に悪影響を及ぼすことから国内では1997年にごみや廃棄物などの焼却温度800℃以上が義務付けられた。また、地球温暖化の主要因とされているCO₂の抑制のためには自動車エンジンなどの燃焼条件の高温化や製鋼メーカを中心とした国際競争力の激化に対応したロールなどの長寿命化のための高耐熱性・耐食性・耐摩耗性等の必要性がますます増加している。この対応として設備などの金属表面に表面処理するハードフェーシング技術が大変重要になっている。

弊社は幅広いハードフェーシング技術を有しており、これらのさまざまなニーズにお応えしている。そこで、本技報に弊社が取り組んでいる現状ハードフェーシング技術を

紹介し、拝読していただいた方々からご意見などいただければ幸いである。

2 ハードフェーシング技術の代表例

図2にハードフェーシング技術の代表例を示す。大きく分けて

- ①鋼材などの外層にハイス材などのさまざまな種類の連続鑄かけ肉盛技術CPC
(Continuous Pouring Process for Cladding)
- ②鋼材と高クロム鑄鉄などを鑄かけする技術
- ③溶接肉盛技術
- ④溶射技術

の4種類である。

項①のCPCは、ハイス材やダクタイル鑄鉄材など様々な材料を使用目的に応じて選定されている。項②の鑄かけ技術は、代表例として複合鑄造技術で製造されている弊社のEST材がある。項③の溶接技術は一般的である溶接ワイヤやフープ材料による溶接とアトマイズ処理によって製造された粉末を約7000℃の温度でプラズマによって直接肉盛するPTAがこの数年の間に展開されるようになり、高合金材料の施工が可能となった。その結果、MC炭化物の生成の制御が大きく改善でき、より機能性の高いハ

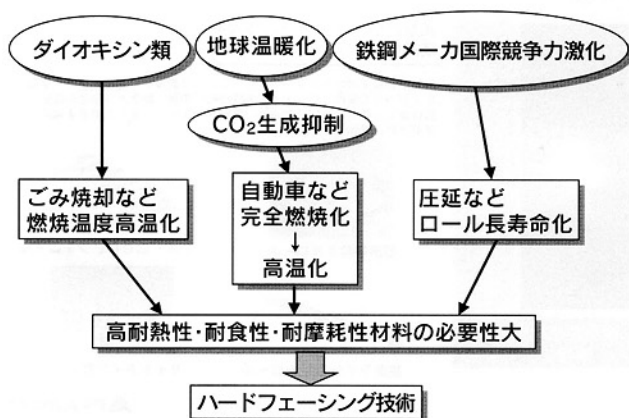


図1 ハードフェーシング技術の必要性

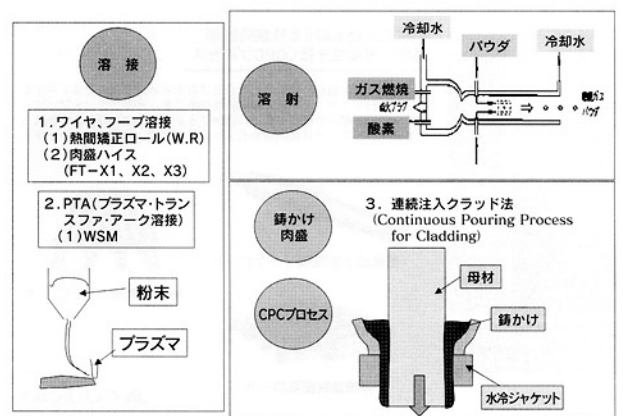


図2 ハードフェーシング技術の代表例

ードフェーシングが行えるようになった。項④の溶射技術は、示している溶射ガンがHVOFの高速フレイム溶射装置であり、ごみ焼却プラントをはじめ、色々な設備への施工に用いられている。

3 (株)フジコーのハードフェーシングの取り組み

弊社のハードフェーシングの取り組みについて弊社ホームページの掲載内容を参考にまず紹介する。ハードフェーシング技術は、施工技術や設備設計などプラント技術との組み合わせも重要であり、図3に示す弊社の事業内容のように複合製品製造部門と表面処理材料部門および機械加工部門などの連携によって安定した施工を行っている。

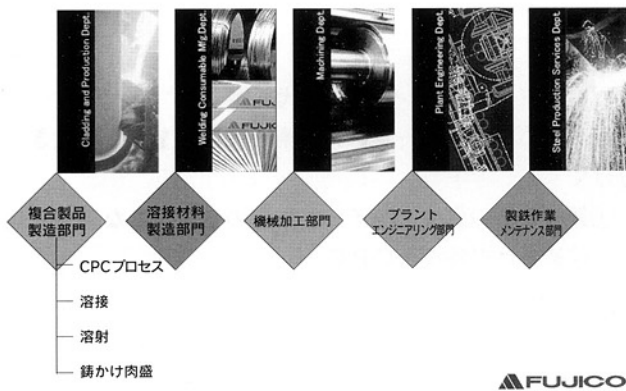


図3 (株)フジコーの事業内容

3.1 CPCプロセス

この方法は、弊社が独自技術を開発して数十年になる。鋼材の外層に数センチメートルの材料を鑄かけする技術である。溶接や溶射技術とは異なり、ハードフェーシング層の厚さが厚いことが特徴である。図4に弊社のホームページにある画面を示す。平成13年11月には、このCPC製品に鍛造や圧延などの塑性加工を加える特許が成立し、より高性能の製品作りを行っている。

図4 CPCプロセス

3.2 鑄かけ技術

図5に鑄かけ関連のホームページ画面を示す。極厚クラッド層をつくる事の出来る鑄かけ肉盛技術は、高性能・低コストを実現したFUJICO独自の複合技術で、クラッド材は、高炭素・高クロム系であり、製鉄所の焼結鉍粉砕設備など国内外で独占的な実績を誇っている。また、大型耐摩耗ライナ (EST) を開発し、設備保守コスト低減に大きく貢献している。

図5 鑄かけ技術

3.3 溶接技術

図6に溶接関連のホームページを示す。鑄鉄の特殊溶接からスタートしたフジコーは数多くの経験を通じて多彩なノウハウを蓄積している。また、溶接材料の開発・製造から製品の設計・製造まで一貫した体制で信頼性の高いバラエティに富んだ製品を幅広い産業分野に提供している。

図7に示すホームページの画面は、弊社が耐摩耗性・耐腐食性・耐熱性など高度な機能を持つ溶接材料を直接製造していることを示しており、ハードフェーシング技術は溶接施工技術のみではなく、材料面との組合せも行っている。高付加価値の新規材料の開発は、技術開発や事業拡張に強いインパクトになる。また、被覆アーク溶接棒、溶接ワイヤ・溶接フラックスなど、全般にわたり迅速且つ的確に対応している。

図6 溶接技術 (その1)



図7 溶接技術 (その2)

3.4 溶射技術

図8に溶射関連のホームページ画面を示す。弊社は、長年の経験とノウハウを生かした幅広い溶射技術があり、特に、高速フレイム溶射では、優れた密着性により、従来概念を越えた領域にまで活用されている。また、製鉄・電力・環境・製紙・エネルギーなど広い分野で活躍している。図9に溶射事業の最近の動向を示す。製鉄所のOGフードや発電ボイラなどさまざまな箇所に溶射が行われている。



図8 溶射技術 (その1)

溶射事業 最近の動向

フジコーは、密着性に優れた高速フレイム溶射など多種類の溶射技術を持っています。これら高い溶射技術で、現地施工や工場での加工に取り組んでいます。作業拠点としての工場は、全国各地に配置されています。

フジコーの溶射事業の特徴は、

1. 事業用発電ボイラなど、高度な仕様の施工実績が有ります。
2. 標準化された作業とたゆまない技術開発が、高品質を維持しています。
3. 高速フレイム溶射技術などのハイテクを、低価格で施工できます。

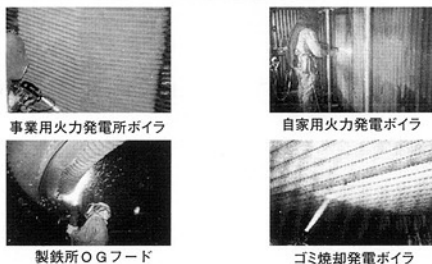


図9 溶射技術 (その2)

4 ハードフェーシングの実例

4.1 ライナ製品

ハードフェーシングの実例として最初にライナを紹介する。図10に連続式アンローダ内に使用されているライナを示す。このように耐摩耗性及び耐衝撃性が要求される部分には弊社の鑄かけライナESTや溶接ライナが使用されている。表1に弊社のライナ製品の構成例を示す。鑄かけ技術によって鋼材に高クロム高カーボン鑄鉄を接合させる複合鑄造材ESTは、10mm以上の肉盛厚さが確保でき、寿命特性を大幅に要求される場所を中心に使用されている弊社独自の開発製品である。図11にクイックスプレッド

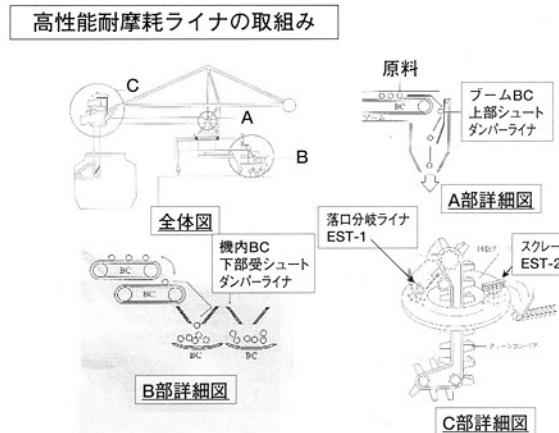


図10 連続式アンローダ内ライナ使用例

表1 現状ライナ製品構成例

区分	名称	サイズ	厚み (母材+硬化層)	成分系	特長
複合鑄造	EST-1	900×1800	25 (9+16)	高C 高Cr	耐熱耐摩耗 厚い硬化層
	EST-2		30 (12+18)		
	EST-α				
溶接	PLA-Tect1	400×1000 ~	7.5 (4.5+3)	高C 高Cr	耐熱耐摩耗 軽量
	PLA-Tect2		15 (9+6)		
溶射	シュールプレートA	100×1000 ~ 300×1000	6.5 (4.5+2)	Ni-Cr系	耐熱耐摩耗 耐食・極薄
	シュールプレートB			Ni-Cr-WC系	

肉厚ライナ (EST) → SS鋼材+高C・高Cr材料の接合

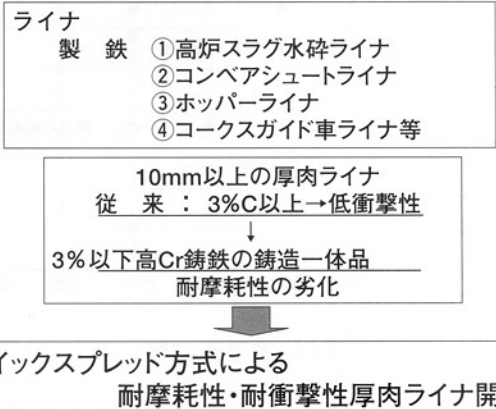


図11 EST製品の開発経緯

方式によって製造するEST製品のコンセプトを紹介する。これまで、耐摩耗性は優れているが耐衝撃性が悪いことから、高クロム・高カーボン鑄鉄材料のカーボン(C)重量は、3%に抑えられた。そこで、鋼材との接合によって耐衝撃性を改善し、5%レベルのカーボン重量にすることを可能とした。図12にこのEST製造工程を示す。図13にライナ材の温度と硬さの関係を示す。ESTライナ材質が溶接ライナ材質に比較して高い硬さ変化を示す。弊社は更に図14のように高温での硬さ低下を抑制した材質開発を行っている。EST製品は、図15に示すように鋼板部にボルトをスタッド方式で接合させることができることから接合強度が安定した施工が可能である。図16にESTライナ(クックスプレッド方式による厚肉ライナ)の特長を示す。

このようにライナ製品は、使用用途に合わせて溶接ライナやESTライナなど耐摩耗性が必要とされているさまざまな箇所に使用されている。

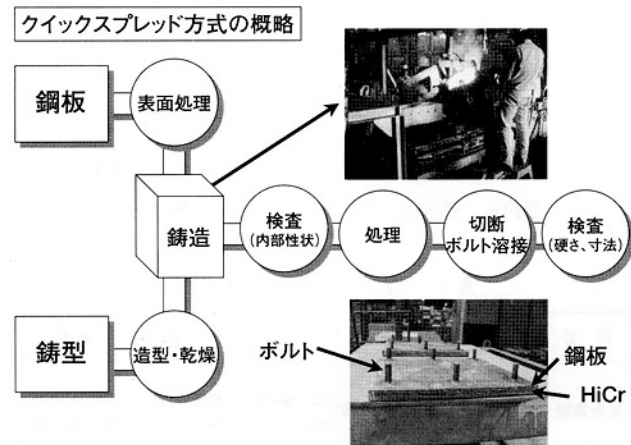


図12 EST製造工程

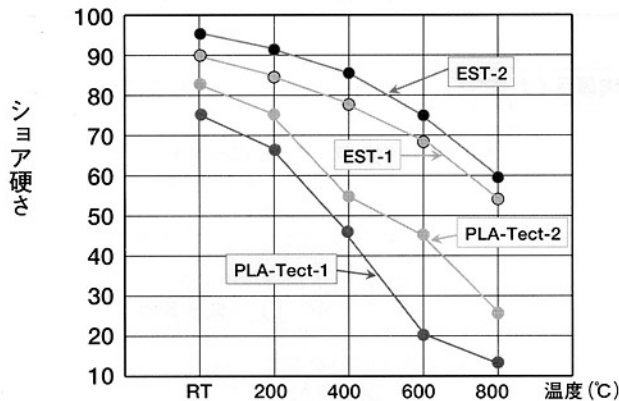


図13 高温硬さ特性

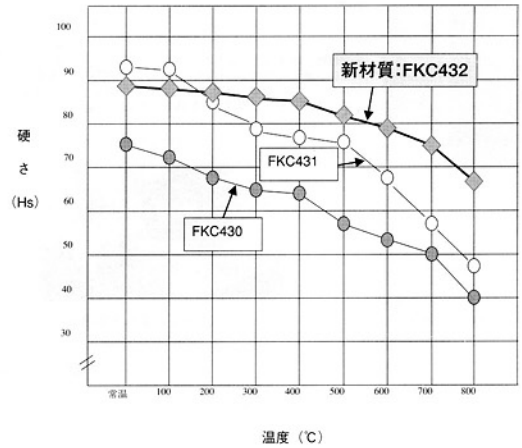
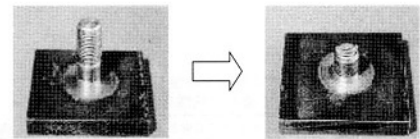
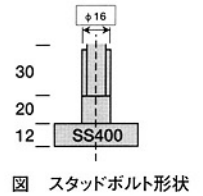


図14 新材質開発状況

表 引張試験結果

ボルト形状 (φ mm)	破断荷重 (N)	抗張力 (N/mm ²)	破断箇所
16	88181	562.9	ネジ部



- 優れた耐摩耗性と耐衝撃性
ベース板(鋼板)…ライナへの衝撃緩和
「耐摩耗性」高C-高合金の複合素材化が可能
「耐衝撃性」境界部のせん断強度(JISG0601)
…37kgf/mm²レベル
- 溶接ボルトの耐強度特性
鋼板へのアークスタッド溶接…安定したボルト溶接強度
- ダイレクト製罐などの多用途対応
鋼板をライナ外部製罐構造へ利用
- 量産・ローコスト・短納期対応
大型サイズ(1800mm×900mm)を鑄造方式で生産
ニーズに応じたサイズで短納期対応が可能


図16 EST(厚肉ライナ)の特徴

4.2 CPC製品

CPC製品は、図17の製造可能な寸法及び材質に示すように10mm以上の肉厚を鋳かけすることが可能であり、現在肉盛厚さ片肉約150mmも達成しており、図18に示す様々なロールへの施工が行われている。

また、図19にCPCプロセスの特長を示す。

現在、更にCPC製品に軽鍛造や圧延などの塑性加工を加えることによって、図20に示すようなクラック生成の抑制が可能となり、その結果、引張強度特性や耐衝撃特性が大幅に改善されることから、今後も種々の製品への応用展開が行われる。



肉盛ロール 製品 外径	φ100～φ700mm
” 長さ	Max 8,000mm (鋳放長)
” 重量	Max 15,000kg (鋳放重量)
肉盛厚み (片肉鋳放)	中空母材:15～85mm 中実母材:20～85mm (実績:147mm)→厚肉化
母材寸法、 材質	外径φ70～φ625mm 一般鉄鋼材料、特殊鋼
肉盛材質	鋳鉄、特殊鋳鉄、特殊鋼 非鉄材料

CPC装置(注湯状況)

図17 CPC製造可能な寸法及び材質



ホットストリップミル
仕上圧延ロール

熱延巻取機ラップロール

- ・形鋼ミルワークロール
- ・厚板仕上圧延機ターンテーブルローラ
- ・厚板仕上圧延機前後面テーブルローラ
- ・連続鋳造用ローラ
- ・熱延粗テーブルローラ
- ・熱延フィードローラ
- ・熱延巻取機下ピンチロール

図18 CPC製品例

1. 2種類の材料のクラッドにより新しい特性を有する材料を提供
2. 2種類の材料のクラッドにより安価な高級材料を提供
3. 従来の肉盛溶接法では不可能であった材料のクラッドが可能
4. クラッド・スピードが速く、一層肉盛の為、肉盛クラッド性能が高い
5. クラッド材の外形は円形、楕円形、正方形、多角形、長方形など色々な形状のクラッド材を提供

13Cr系ステンレス	FC鋳鉄
FKS506 S25C	FKC205 STKM-13A
SKH9 S25C	黄銅 STKM-13A

図19 CPCプロセスの特長

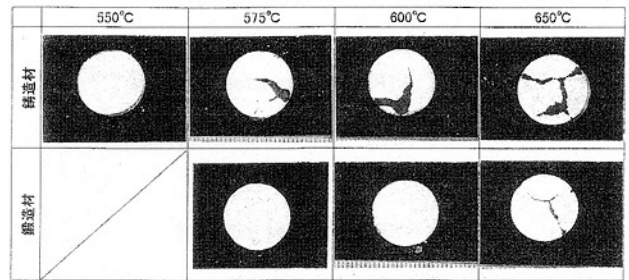


図20 耐ヒートクラック試験結果
「各温度3分間保持した後水冷」

4.3 溶接肉盛製品

ハードフェーシング層の硬さと摩耗は比例関係にあり、HS(ショア硬さ)が90以上と高い材料を溶接肉盛する材料として弊社材FT-Xシリーズ(図21参考)があり、図22に示すような製品に展開されている。この材料は、表2に示すようにMoやV元素を含有する高速度鋼系であり、耐熱・耐摩耗・耐溶接性など好評をいただいている材料である。表3にFT-Xシリーズの化学組成を示す。特殊元素としてNb、W、Vなどの元素を含有している。表4にFT-Xシリーズの機械的性質を示す。特にFT-X

肉盛ハイス材

FT-X1
HS-90!
FT-X2/FT-X3
HS-100!



FUJICO
株式会社フジコー

図21 FT-Xシリーズ

施工例



- ・酸洗プレッシャーロール
- ・酸洗ピンチロール
- ・酸洗レベリングロール
- ・酸洗デフレクタロール
- ・酸洗テンションメータロール
- ・冷延ブライドルロール
- ・冷延マッシャーサポートロール
- ・冷延サードロール
- ・熱延スキンパスミルブライドルロール
- ・中板シャーラインブライドルピンチロール

酸洗レベリングロール

図22 FT-Xシリーズの施工例

3材はHS100の硬さを示すと同時に115 kgf/mm²の高い引張強度特性を有している。溶接肉盛の施工方法は、溶接ワイヤまたはPTA(Plazma Transfer Arc)溶接で行われている。

表2 肉盛ハイス材との比較

	主成分	全金属 摩耗	土砂 摩耗	衝撃 摩耗	耐熱	耐食	硬度 (HS)	耐溶接 割れ性
高速度鋼系	C Cr-Mo-W 0.8~1.1 1~10	◎	◎	△	◎	△	90~100	○
Coベース ステライト系	Coベース	◎	◎	△	◎	◎	50~80	△
タンクステン カーバイト系	WC 20~60	◎	◎	×	○	◎	50~80	×
高クロム鋼鉄	C Cr 1.5~2.0 20~30	◎	◎	×	◎	◎	70~80	×
高炭素鋼クロム マルテンサイト系	C Cr Mo 0.7~1.5 9~14 <2	○	◎	◎	○	◎	70~80	△
高炭素 マルテンサイト系	C Cr Mo 0.2~0.6 <5 <1	○	○	△	○	△	60~70	○

表3 FT-Xシリーズの化学組成

溶接材料	元素 wt%	C	Si	Mn	Cr	特殊元素		
						①	②	③
FT-X1	0.9 ~1.0	0.2 ~0.4	1.0 ~1.2	3.5 ~4.5	1.5 ~2.0	5.0 ~8.0	6.0 ~8.0	
FT-X2	1.0 ~1.5	0.2 ~0.4	1.0 ~1.2	3.5 ~4.5	1.5 ~2.0	6.0 ~10.0	7.0 ~10.0	
FT-X3	0.75 ~1.25	0.2 ~0.4	1.0 ~1.2	6.5 ~7.5	1.5 ~2.0	6.0 ~10.0	6.0 ~8.0	

表4 FT-Xシリーズの機械的性質

	硬度	引張強さ	高折力
FT-X1	HS90	102 kgf/mm ²	5.9 kgf/mm ²
FT-X2	HS100	105 kgf/mm ²	6.2 kgf/mm ²
FT-X3	HS100	115 kgf/mm ²	7.1 kgf/mm ²

図23に示すSUS420J2の13%Cr系材料と比較しても優れた特性を目的に開発した矯正ロール用の溶接材料の概要を示す。その思想の基に開発したこの材料の特性を図24に示す。500℃での高温硬さの高い材料であることが分かる。

更に高温度や耐腐食性が要求されているラッパーロールやピンチロールなどのロール表面処理として、MC炭化物を微細に分散させたWSM材を開発し、取り組んでいる。図25に代表組織写真を示すが、MC炭化物が微細に分散しているのが確認できる。図26に摩耗試験結果を示す。弊社のCPC材質FKS407材と比較した場合、このWSM材が優れ、他社材(溶射)とほぼ同等であることが確認できる。図27に塩水噴霧試験結果を示す。摩耗試験結果同様、弊社材FKS407材よりも腐食が少ない。図28に転動試験結果を示す。他社材(溶射)に比べ、格段に優れていることが分かる。いずれの結果も、WSMの特性が好結果を示している。

厚板工場
熱間矯正ロール(W,R)の新肉盛材料
FUW-4002MV

ホットレバロールへの負荷変化

- 1) 通板材の変化
- 2) 矯正反力の増加
- 3) 通板材温度の高、低

↓ 従来材:SUS420J2 13Cr対比

- 1) 焼戻し温度…高い
- 2) 高温硬度…高い
- 3) 耐焼付性…同等以上
- 4) 耐腐食性…同等以上
- 5) 耐チャタマーク…生成なし

図23 矯正ロール用溶接材料

SUS420J2との比較

1) 成分系

材料名	成分系	硬度
FUW-4002MV	13Cr-Mo-V	HS70±4
SUS-420J2	13Cr	HS68±4

Mo: 耐熱性の向上(熱間強度、高温硬度、焼戻し抵抗UP)
V: 結晶粒界の微細化(熱間強度、靱性UP)

2) 焼戻し硬さ

材料名	400℃	500℃
FUW-4002MV	HV550	HV570
SUS-420J2	HV460	HV490

3) 高温硬さ

材料名	400℃	500℃
FUW-4002MV	HV480	HV440
SUS-420J2	HV420	HV280

図24 矯正ロール用材料特性

新材質[WSM]について

新材質WSMはステンレス系のマトリックスにMC炭化物を微細均一に晶出させた耐食・耐熱・耐摩耗性及び耐焼付き性に優れた材料です。

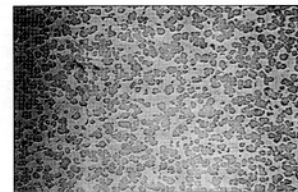


図25 WSMのミクロ組織写真と特長

摩耗試験条件

相手材	S45C
相手材温度	850℃
試験材温度	500℃
荷重	10Kg
試験片回転速度	700rpm
すべり率	11%
転動数	10,000回

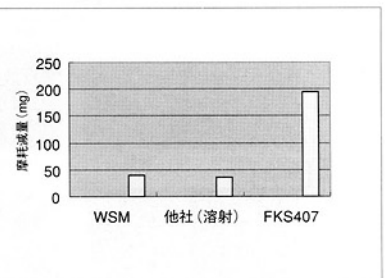


図26 WSM材の高温摩耗試験結果

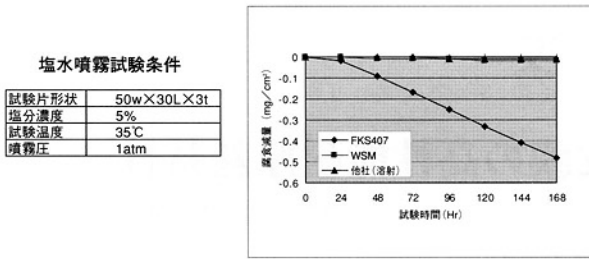


図27 WSM材の塩水噴霧試験結果

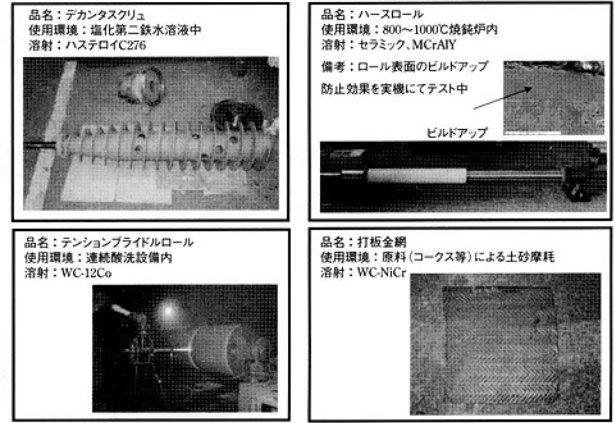


図29 最近の溶射製品例

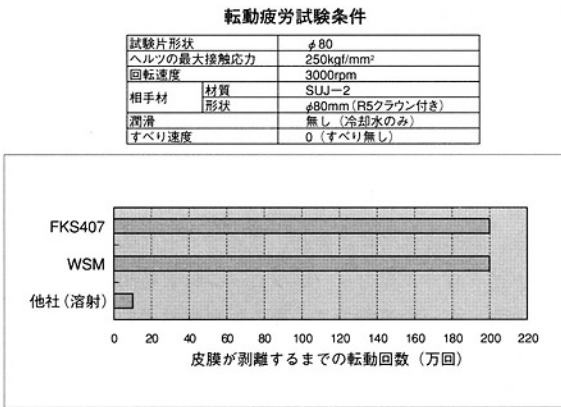


図28 WSM材の高温摩耗試験結果

5 結言

本技報に弊社のハードフェーシング技術の概要を記載した。これまでもさまざまな分野のスペシャリストの方々に弊社の技報に技術解説として掲載していただき、広く技術動向を述べていただいた。これらの分野や、地球にやさしい環境・循環型社会づくりなどの達成には、基幹技術とそれを支える例えば弊社での取り組みのハードフェーシング技術も、間接的に貢献させていただいていると自負している。

本技報に紹介した技術はその一部であるが、今後とも皆様からの御指導、御鞭撻をいただきながら、環境や社会に少しでも貢献できるよう努力していく所存である。

4.4 溶射

溶射によるハードフェーシング処理は、プラズマ溶射や高速フレイム溶射、ガスフレイム溶射など様々な方法が取り入れられている。詳細は、弊社の技術論文をご参考いただき、本記載にあたっては最近の新しい施工事例を示すとどめた。

図29に溶射事例を示す。左上は、塩化第二鉄の溶液を搬送するデカンタスクリュウの事例で、従来はSUS310材などのステンレス系を用いていたが、数週間でスクリュウ部に貫通穴が発生するほどの腐食があったが、Mo系の材料を高速フレイム溶射し、封孔処理を行うことによって数ヶ月の寿命延長が可能となった。右上は、約1,000℃温度で使用されるシームレス管や鋼板の搬送用ロール(ハースロール)にMCrAlY材を高速フレイムにより溶射を行い、さらにプラズマ溶射によりセラミック材料を溶射した例である。左下は冷延用のブライドルロールの下地に弊社のFT-X3を溶接肉盛した上にWC-12Co系材料をプラズマ溶射したもので、使用実績も大変好評を得ている。右下は、これまで溶射膜特性は衝撃に弱いと一般にいられていたが、衝撃特性を大幅に改良が可能となり、振動篩へも使用展開が行われている例を示す。